

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO**

ESDRAS GARCIA ALVES

**UM ESTUDO MULTIMODAL DE TEXTOS DIDÁTICOS
SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO**

BELO HORIZONTE

Agosto de 2011

ESDRAS GARCIA ALVES

**UM ESTUDO MULTIMODAL DE TEXTOS DIDÁTICOS
SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação: Conhecimento e Inclusão Social da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação.

Linha de pesquisa: Educação e Ciências

Orientador: Prof. Dr. Helder de Figueiredo e Paula

Belo Horizonte

Agosto de 2011

Esdras Garcia Alves

**UM ESTUDO MULTIMODAL DE TEXTOS DIDÁTICOS
SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO**

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação pelo Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais.

Aprovada em 30 de agosto de 2011

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Helder de Figueiredo e Paula – UFMG (Orientador)

Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior – UFMG

Prof. Dr. Adelson Fernandes Moreira – CEFET-MG

Agradecimentos

Agradeço,

à Deus, soberano, sem o qual nada do que foi feito se fez;

à Andreza, pelo amor, pelo auxílio na realização desse trabalho e pela compreensão nos muitos momentos de ausência;

ao prof. Dr. Helder de Figueiredo e Paula, meu orientador, a quem não tenho palavras para me dirigir, tamanha a minha gratidão por ter sido seu orientando. Ao longo deste tempo em que estivemos mais próximos aprendi muito mais que teorias sobre aprendizagem;

ao meu pai, Antônio Garcia Alves (eterna saudade) e à minha mãe, Ana Batista Alves, que me ensinaram o bom caminho a ser trilhado;

aos profs. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior e Dr. Adelson Fernandes Moreira por aceitarem o convite para participar da banca examinadora e pelas importantes contribuições fornecidas para a ampliação deste trabalho;

à Elizabeth Maura de Carvalho Eliazar, gestora pedagógica do Colégio Santo Agostinho, pelo apoio para que eu pudesse realizar este curso de mestrado;

à profa. Júnia Aparecida Rios Barcelos pela produção do abstract desta dissertação, afinal, my english is not good;

aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Educação da FAE/UFMG sem os quais nosso trabalho não poderia ser realizado. Um agradecimento especial à Rose, que com muita serenidade, cuidado e presteza procura nos auxiliar nas demandas que apresentamos a ela;

enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

Este trabalho investiga o fenômeno da multimodalidade, tal como ele se manifesta nos textos sobre o efeito fotoelétrico (EF) dos livros de Física selecionados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio. Mais especificamente, fazemos aqui uma análise de como os autores desses livros empregam diferentes modos de comunicação na elaboração de textos sobre o EF, de modo a atingirem determinados objetivos retóricos ligados à descrição, explicação, injunção, definição, exemplificação e narração de objetos de conhecimento das ciências.

O referencial teórico adotado para efetivar a análise dos textos selecionados está baseado na semiótica social, que considera que os modos de comunicação não significam *per si*, pois, a produção de sentidos advém da inserção do enunciador e do enunciatário em uma determinada cultura e em um determinado conjunto de práticas sociais. Além disso, esse referencial admite que, tanto a comunicação, quanto o pensamento humano, são inerentemente multimodais.

A história do desenvolvimento cultural dos modos de comunicação e pensamento utilizados em uma dada cultura, bem como a materialidade dos meios por meio dos quais eles se manifestam (sons, gestos, imagens e símbolos registrados em diferentes suportes) levam a uma “especialização funcional dos modos”. Isso significa que alguns modos são mais adequados para mediar o pensamento e a comunicação de determinados tipos de objetos de conhecimento que outros. Além disso, na produção de uma enunciação, os diferentes modos sempre são selecionados e integrados uns aos outros por um enunciador, a partir das representações que ele tem do enunciatário e do objetivo retórico que orienta sua iniciativa de comunicação.

Com base nesses pressupostos teóricos, elaboramos uma análise de textos sobre o EF presentes em dois livros didáticos de Física. A restrição a dois livros se justifica pelo nível de detalhamento da análise que realizamos. Esse nível é necessário para que se possa antecipar o trabalho semiótico que um leitor precisa realizar em sua busca pela significação dos textos. Ao comparar os dois textos escolhidos, procuramos mostrar como a orquestração dos modos verbal e não-verbal depende das intenções retóricas que movem o autor/enunciador na elaboração de um texto que, em seu ponto de vista, é coeso e coerente.

Vislumbramos com esse trabalho oferecer uma oportunidade de reflexão para professores e produtores de materiais didáticos que lidam com textos didáticos de ciências. Esses textos são essencialmente multimodais e, por essa razão, professores e produtores de materiais didáticos precisam aumentar sua compreensão sobre a complexidade do trabalho semiótico realizado pelos estudantes, leitores dos textos didáticos multimodais, confrontados com a tarefa de interpretar esse gênero textual.

Palavras-chave: multimodalidade, semiótica, ensino de física moderna e contemporânea

Abstract

This work investigates the phenomenon of multimodality, as it manifests itself in the texts on the photoelectric effect (PE) in physics textbooks recommended by the National Textbook Program of the Brazilian Education Ministry - PNLD/MEC. More specifically, here we analyze how the authors of these books employ different verbal and nonverbal modes in the elaboration of texts on the PE in order to achieve certain rhetorical goals related to the description, explanation, injunction, definition, exemplification and narration of objects of knowledge of the sciences.

The theoretical framework adopted in order to carry out the analysis of selected texts is based on social semiotics for which the modes of communication do not mean *per se*. The production of meaning comes from the insertion of the enunciator and enunciatee in a specific culture and set of social practices. In addition, this framework admits that both the communication and the human thought are inherently multimodal.

The history of cultural development of thought and communication modes in a specific culture, as well the materiality of the means by which they manifest themselves (sound, gestures, images and symbols recorded on different media), lead to a “functional specialization of modes”. This means that some modes are better suited to mediate the thought and the communication of certain types of objects of knowledge than others. In addition, during the production of an enunciation different modes are used, selected and integrated with each other by an enunciator from the representations that he has from the rhetorical enunciatee and purpose that guides his/her communication initiative.

Based on these theoretical assumptions, we analyze texts on the PE present in two textbooks of physics. The restriction to two books is justified by the level of detailed analysis that we perform. This level is necessary so that we can anticipate the semiotic work that a reader needs to do in their quest for meaning of texts. By comparing the two texts chosen, we show how the orchestration of the verbal and non-verbal mode intentions depends on the rhetorical move that the author/enunciator in the elaboration of a text, that in his view, is cohesive and coherent.

From this work we look forward to providing an opportunity for reflection, for teachers and producers of didactic materials that deal with science textbooks. These are essentially multimodal texts, and for this reason, teachers and producers of didactic materials need to increase their understanding of the semiotic complexity of the work done by students, readers of multimodal textbooks, faced with the task of interpreting this genre.

Key-words: multimodality, semiotics, teaching modern and contemporary physics

Sumário

Introdução.....	9
Capítulo 1 – Referenciais teóricos.....	15
1.1 Semiótica social e metafunções da linguagem.....	15
1.2 Modos de comunicação e multimodalidade.....	18
1.2.1 – Os tipos de texto.....	26
1.2.2 – Inscrições didáticas.....	28
1.2.2.1 – Fotografias.....	32
1.2.2.2 – Desenhos icônicos e desenhos esquemáticos.....	35
1.2.2.3 – Gráficos cartesianos.....	41
1.2.2.4 – Expressões algébricas.....	45
1.2.2.5 – Tabelas.....	47
1.3 – A função retórica dos textos didáticos.....	49
1.3.1 – Argumentação.....	52
1.3.2 – Explicação.....	53
1.3.3 – Descrição.....	54
1.3.4 – Injunção.....	55
1.3.5 – Definição.....	55
1.3.6 – Narração.....	56
1.3.7 – Exemplificação.....	57
1.4 – Coerência e coesão em textos multimodais.....	58
Capítulo 2 – Metodologia.....	64
Capítulo 3 – Análise dos textos empíricos.....	69
3.1 - O estatuto multimodal dos textos sobre o Efeito Fotoelétrico.....	69
3.2 – Análise do livro Física Ciência e Tecnologia de Torres et al., 2010.....	72
3.3 – Análise do livro Física em contextos: pessoal, social e histórico de Pietrocola et al., 2010.....	94
3.4 Comparando as estratégias de orquestração dos multimodos.....	117

Considerações finais	121
Referencias Bibliográficas	126
APÊNDICE A - O efeito fotoelétrico.....	130

Introdução

Uma característica bastante comum aos textos de livros didáticos dedicados ao ensino das Ciências Naturais é o emprego de fotografias, desenhos esquemáticos, desenhos icônicos, diagramas, tabelas, gráficos, expressões algébricas, além de elementos visuais que compõem a diagramação e o projeto gráfico da obra. Esses recursos não-verbais sempre aparecem junto a textos verbais de diferentes tipos: descritivos, explicativos, argumentativos, narrativos, entre outros.

A utilização integrada desses recursos de comunicação verbal e não-verbal pode ser encontrada em muitos outros gêneros de texto: artigo científico, folheto de propaganda, jornal impresso, site da internet, manual de instrução para montagem e utilização de equipamentos, entre um número quase infinito de outros gêneros. A forma como são empregados os diferentes recursos de comunicação, verbal e não-verbal, na constituição do gênero artigo científico é descrito e analisado por Lemke (1998a) e pode elucidar aspectos da utilização da mesma gama de recursos nos textos didáticos de ciências.

Iremos identificar os elementos de texto não-verbal que compõem os textos didáticos e que serão objeto de nossa análise como inscrições didáticas (ROTH et al., 2005). Assim, fotografias, desenhos, gráficos, tabelas e expressões algébricas serão chamados, daqui em diante, de inscrições didáticas e as razões dessa nossa escolha terminológica serão apresentadas mais adiante, quando delinearmos nosso referencial teórico.

As inscrições compartilham com o texto verbal o fato de serem usadas como mediadoras de processos de comunicação e pensamento. Por isso, assim como as palavras, as inscrições compõem modos específicos de comunicação e pensamento. Deste modo, baseando-nos no trabalho de Kress et. al. (2001), podemos afirmar que os textos didáticos de ciências constituem-se como mais um caso de gênero textual multimodal.

A coordenação entre textos verbais e inscrições, sempre presente nos textos multimodais dos livros didáticos, contribui tanto para orientar a leitura e a interpretação do texto, quanto para tornar mais complexo o trabalho semiótico associado à significação desses textos (ROTH et al., 2005; KRESS et. al., 2001).

O nosso interesse na realização da pesquisa aqui descrita foi o de compreender como as inscrições didáticas, presentes nos textos analisados, se integram ao texto verbal, de modo a potencializar a compreensão e a eventual apropriação de conceitos, modelos e teorias das Ciências pelos estudantes. O conteúdo curricular que delimitou os textos didáticos empiricamente investigados foram os tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) incluídos nos livros didáticos de Física para o Ensino Médio. Mais especificamente,

analisamos os textos didáticos que tratam do efeito fotoelétrico. O efeito fotoelétrico¹ é um dos temas que compõem as unidades dedicadas ao ensino da FMC nos livros didáticos de Física, ao lado de outros temas como a teoria da Relatividade, a radiação de corpo negro, o átomo de Bohr, entre outros (mais adiante, no capítulo 2, onde apresentamos os nossos procedimentos metodológicos, explicitaremos os motivos que nos levaram à escolha pelos textos sobre o efeito fotoelétrico). O ensino aprendizagem desse conteúdo compunha o núcleo inicial do interesse que me levou a ingressar no mestrado em educação e o posterior deslocamento para a análise das mediações usadas nesse empreendimento, as inscrições didáticas, não reduziu meu interesse por esse tema.

Um número expressivo de trabalhos, publicados principalmente a partir da década de 1990, defende a introdução da FMC no Ensino Médio da Educação Básica a partir de inúmeras justificativas (para uma revisão veja OSTERMANN e MOREIRA, 2000; GRECA e MOREIRA, 2001; MONTEIRO e NARDI, 2007; PEREIRA e OSTERMANN, 2007 e 2009). Minha participação em encontros e eventos dedicados ao ensino de Física na Educação Básica também me colocou em contato com um expressivo movimento que reivindica a inclusão de tópicos de FMC na Educação Básica. A análise das dificuldades inerentes a esse processo de renovação curricular geralmente recai na afirmação de que faltam bons materiais didáticos e uma preparação adequada dos professores desse nível de ensino. Essa análise revela o caráter problemático do tema e justifica a necessidade de estudos que focalizem as características e limitações do tratamento dado pelos livros-texto para os tópicos de FMC.

Para Ostermann e Moreira (2000) há um marco importante na história da defesa da inserção da FMC na Educação Básica e das reflexões sobre as dificuldades inerentes a esse empreendimento: a Conferência sobre o Ensino de Física Moderna, realizada no Fermi National Accelerator Laboratory, em Batavia, no estado de Illinois, em 1986. O aumento expressivo do número de artigos publicados na área de educação em ciências, contendo uma defesa a favor da inserção da FMC no Ensino Médio da Educação Básica, a partir da década de 1990, e a crescente presença dessa temática em eventos que congregam professores e pesquisadores, provavelmente estão relacionados à realização dessa conferência. Além disso, é importante ressaltar a inserção de tópicos de FMC também em programas de vestibular. Esse último fenômeno parece ter tido papel fundamental na introdução de temas de FMC nos livros-texto dedicados ao ensino de Física no nível médio. A recente substituição dos vestibulares pelo ENEM pode trazer alterações a esse quadro, mas esse é um movimento que ainda não pode ser caracterizado com clareza e cujo sentido escapa aos objetivos da pesquisa relatada nesta dissertação.

¹ No Apêndice A o leitor pode encontrar um texto sucinto sobre o Efeito Fotoelétrico.

De um ponto de vista pessoal ou biográfico, a história que me levou ao estudo das formas como os diferentes textos verbais e não-verbais são empregados no ensino de FMC teve início no ano de 2007. Nessa ocasião eu e o Prof. Dr. Helder de Figueiredo e Paula, orientador desta dissertação, produzimos e aplicamos uma seqüência didática destinada a ensinar tópicos de FMC para uma turma de alunos do terceiro ano do Ensino Médio da Educação Básica, em uma escola municipal situada na cidade de Contagem. Três anos depois, essa experiência deu origem a um livro paradidático lançado em 2011 pela Editora UFMG (PAULA et al., 2011).

Naquela ocasião, nós escolhemos o estudo da estrutura e do funcionamento de alguns dispositivos semicondutores como estratégia de introdução de conteúdos de FMC no ensino médio. Essa escolha esteve pautada na possibilidade desses dispositivos serem reconhecidos pelos estudantes como parte de aparelhos e sistemas encontrados em suas vidas cotidianas.

Na concepção do texto didático usado na seqüência, elaboramos uma quantidade considerável de inscrições didáticas para a representação de processos ou fenômenos na expectativa de mediar o acesso dos estudantes a certos aspectos dos modelos e teorias produzidos pela Física de Semicondutores.

A grande dependência de nossa sequência, desses elementos não-verbais, nos conduziu à seguinte questão: que práticas são necessárias à leitura e à compreensão das inscrições didáticas utilizadas no ensino da Física? Para responder a essa questão, tomamos a decisão de estudar as características desses tipos de inscrições didáticas e dos processos por meio dos quais ocorre sua interpretação. Esse movimento acabou por nos levar ao trabalho de Roth et al. (2005), que apresenta uma série de estudos e proposições teóricas para analisar a leitura e a interpretação de diferentes tipos de inscrições, com vistas a contribuir para que os estudantes aprendam a lidar criticamente com os elementos não-verbais presentes nos livros textos de ciências.

O contato com esse trabalho nos levou a pensar não apenas sobre os processos de interpretação das inscrições utilizadas nos textos de FMC dos livros de Física, mas também sobre o modo como os autores desses livros integram as inscrições aos textos verbais. Esse é um aspecto lacunar do trabalho de Roth et al. (2005) e a identificação dessa lacuna nos motivou a escolher a integração entre recursos verbais e não-verbais nos livros didáticos como foco da nossa pesquisa.

O livro didático, das mais diversas disciplinas, tem sido motivo de muitos trabalhos de pesquisa na área da educação. Tal interesse se justifica pela importância deste gênero em pelo menos três aspectos: i) em termos históricos, devido à relação entre esse material educativo e as práticas constitutivas da escola e do ensino escolar (MARTINS, 2006, p. 118); ii) pelo fato de se constituir em um recurso fundamental na mediação dos processos

de ensino aprendizagem ao ser utilizado por professores na preparação de suas aulas, na organização dos conteúdos e na seleção de exercícios e atividades para os alunos (MENDONÇA et al., 2004, p. 45); iii) pelo fato de se constituir como um objeto cultural complexo cujas linhas de investigação encontram muitas facetas: como mercadoria, como suporte de conhecimentos e métodos de ensino e como veículo de valores ideológicos ou culturais (BITTENCOURT, 2004, p. 471).

Mendonça et al. (2004) afirmam, baseados em Bittencourt (1997, apud. MENDONÇA et al., 2004), que alguns professores têm uma relação contraditória com o livro didático – enquanto uns o têm como único recurso para preparar suas aulas, outros o veem como um empecilho para a aprendizagem dos alunos. O fato é que o livro didático continua sendo utilizado e, nas últimas décadas, em larga escala, em função dos programas nacionais de distribuição de livros didáticos – PNLD.

A despeito dessa importância dos livros didáticos no cenário educacional, Braga e Mortimer (2003, p.57) constataram que a pesquisa em educação produzida até aquela época abordava o livro didático de Ciências em seus conteúdos programáticos, ideológicos, deixando uma lacuna em relação à natureza da linguagem neles utilizada. Mais recentemente, Martins (2006, p. 119) afirma que ainda há uma desproporção numérica muito grande entre as pesquisas orientadas pela análise de conteúdo e aquelas dedicadas à análise das dimensões discursivas, históricas, políticas e econômicas, que são inerentes e essenciais à problemática do livro didático.

No entanto, Martins (2006) aponta para uma tendência de ampliação do interesse de pesquisadores da área da Educação em Ciências sobre a questão da linguagem nos livros didáticos. A esse respeito, Nascimento e Martins (2005, pp. 255-256) afirmam que:

Recentemente tem-se percebido uma ampliação do escopo de interesse sobre estes materiais com a realização de estudos que investigam o texto do ponto de vista dos estudos de linguagem e que permitem a discussão de temas tais como: práticas de leitura do texto (verbal e imagético) do livro didático de ciências (MARTINS e GOUVÊA, 2003); leituras e critérios para escolha do livro por professores de ciências (CASSAB e MARTINS, 2003); influências histórico-culturais no texto do livro (SELLES e FERREIRA, 2004); análises de imagens e ilustrações (MARTINS *et al.*, 2003; OTERO e GRECA, 2004); representações do livro presentes nos ideários de professores e pesquisadores e nos currículos oficiais (MEGID NETO e FRACALANZA, 2003); análises dos gêneros discursivos que compõem o livro didático (BRAGA, 2003).

Nosso trabalho se insere nessa perspectiva. Definimos como o objetivo geral de nossa pesquisa identificar e analisar as estratégias de integração, dos diferentes modos de comunicação, utilizadas pelos autores na elaboração dos textos de livros didáticos. Portanto, nosso foco de atenção insere-se nos estudos da linguagem e não sobre a análise de conteúdo.

Assumimos, a partir de nosso referencial teórico, que o texto do livro didático é uma produção multimodal em que os autores procuram integrar um conjunto de recursos verbais e não-verbais com o objetivo de alcançar certos propósitos retóricos junto a seus leitores. A questão central que nos colocamos, com respeito a essa temática, pode ser formulada da seguinte maneira: Como os autores de livros didáticos utilizam e integram os diferentes modos de comunicação e representação na composição dos textos multimodais sobre o efeito fotoelétrico, de forma a alcançar certos propósitos retóricos?

Essa questão mais geral pode ser desdobrada em algumas questões mais específicas, que delimitam um pouco melhor o nosso objeto de pesquisa: i) Como os textos são retoricamente estruturados? ii) Como os autores orquestram os diferentes modos de comunicação ao longo do texto? iii) Como os autores constroem a coesão e a coerência textuais ao orquestrar os múltiplos modos?

Para respondermos às questões de pesquisa explicitadas no parágrafo anterior nos apoiamos nos estudos sobre multimodalidade que se orientam por uma perspectiva semiótico-social da comunicação. Tal abordagem nos permite entender os signos empregados na elaboração do texto didático como uma produção que encontra significado nas comunidades em que ele é utilizado.

Acreditamos que as reflexões realizadas nesse trabalho a respeito de certas características dos processos de leitura e interpretação de inscrições, bem como as respostas às questões de pesquisa explicitadas anteriormente contribuirão para as práticas de professores e de produtores de materiais didáticos que lidam com o ensino de ciências.

O texto desta dissertação encontra-se dividido em quatro capítulos, além desta introdução e das considerações finais. No capítulo 1 apresentamos os referenciais teóricos que empregamos na análise da forma como são integrados os recursos verbais e não-verbais nos textos didáticos sobre o efeito fotoelétrico. Esse capítulo se encontra dividido em quatro seções. Na primeira seção, apresentamos algumas implicações dos estudos da linguagem para o ensino de ciências. A segunda seção é dedicada à apresentação dos conceitos de modos de comunicação e multimodalidade. Na terceira seção, apresentamos as funções retóricas que podem ser associadas aos textos didáticos a partir dos tipos de texto que os compõem. Por fim, na quarta seção, apresentamos os conceitos de coerência e coesão em textos multimodais.

No segundo capítulo, apresentamos as escolhas metodológicas que fizemos para a realização deste trabalho. Nesse capítulo, explicamos a escolha pelos textos sobre o efeito fotoelétrico, dentre outros textos de FMC. Além do mais, descrevemos as estratégias de utilização de nosso referencial teórico na análise dos textos selecionados.

O capítulo 3 foi dividido em quatro seções e é dedicado à análise dos textos didáticos. A primeira seção busca caracterizar os textos de efeito fotoelétrico como

produções multimodais. Nas seções dois e três são apresentadas as análises de dois textos didáticos que tratam do efeito fotoelétrico. Na quarta seção, contrastamos as análises realizadas nas seções dois e três.

Por fim, no capítulo de considerações finais retomamos nossas questões de pesquisa e apontamos possíveis implicações dessa dissertação para a pesquisa e o ensino de ciências.

Capítulo 1 – Referenciais teóricos

Neste capítulo apresentamos os elementos do referencial teórico que julgamos como adequados ao tratamento do nosso problema de pesquisa. Tal referencial se baseia na semiótica social e tem como um de seus pressupostos o fato de que as características da linguagem emergem de seu uso social. Isso implica em que os modos de comunicação e pensamento não significam *per se*, mas, que a produção de sentidos advém da inserção do enunciador e do enunciatário em determinada cultura e em determinado conjunto de práticas sociais. A história do desenvolvimento cultural dos modos utilizados em uma dada cultura, bem como a materialidade dos meios pelos quais eles se manifestam (sons, gestos, imagens e símbolos registrados em diferentes suportes) levam a uma “especialização funcional dos modos”. Isso significa que alguns modos são mais adequados para comunicar determinados tipos de informações que outros. Além disso, os diferentes modos são selecionados e integrados uns aos outros por um enunciador, a partir da concepção que ele tem do enunciatário e do objetivo retórico que ele visa alcançar com a comunicação.

Este capítulo está dividido em quatro seções. A primeira seção é dedicada a algumas considerações a respeito do uso da linguagem e suas implicações para o ensino de ciências. Na segunda seção, apresentamos considerações acerca da comunicação multimodal. Apresentamos as características dos textos multimodais, bem como exploramos a ideia de potencialidades e limitações dos diferentes modos. Abordamos, oportunamente, nessa seção, as características de alguns dos modos encontrados nos textos didáticos de efeito fotoelétrico. A terceira seção é dedicada à apresentação das funções retóricas que podem ser associadas aos diferentes tipos de textos e às inscrições a eles associadas. Na quarta seção, trazemos considerações a respeito da coerência e da coesão em textos multimodais. Nessa seção, procuramos estabelecer certas características necessárias a esses textos para que possam ser lidos e interpretados.

1.1 Semiótica social e metafunções da linguagem

O referencial teórico que estamos utilizando em nosso estudo sobre os aspectos da linguagem nos materiais didáticos está baseado na gramática sistêmico-funcional de M. A. K. Halliday (LEMKE, 1998a; KRESS e van LEEUWEN, 1996; KRESS et al., 2001; KRESS, 2003; GUO, 2004).

Para Halliday (1976, 1985) as características da linguagem emergem de seu uso social. Entre os principais usos sociais da linguagem destacam-se suas funções para

expressar o nosso julgamento acerca de algo, para direcionar o olhar de outros àquilo que desejamos, para dirigir a conduta de outras pessoas, para estabelecer relações sociais e de poder. Ao solicitarmos que a linguagem atenda a cada uma dessas demandas, nós fazemos escolhas dentre todo um conjunto de signos possíveis e disponíveis no conjunto de conhecimentos historicamente produzidos pelas sociedades. Escolhemos, em cada situação, aqueles recursos que julgamos mais apropriados para produzir o sentido que desejamos.

Pelo que expusemos acima, torna-se evidente que a linguagem é chamada a mediar uma enorme variedade de situações e que faz isso através de uma enorme gama de recursos, tão numerosos quanto as culturas e as demandas específicas de comunicação criadas em seu interior (HALLIDAY, 1976). Sobre esse cenário, parece ser, a princípio, impossível estabelecer alguma generalização sobre os usos da linguagem. No entanto, Halliday (1976, p. 136) afirma:

... quando examinamos o sentido potencial da própria linguagem, observamos que numerosas opções nela englobadas, se combinam numas poucas “redes” relativamente independentes; e estas redes de opções correspondem a certas funções básicas da linguagem.

Segundo Halliday (1976, 1985) são três as funções básicas que a linguagem deve exercer em todo ato comunicativo: i) ideacional; ii) interpessoal; iii) textual. Como Halliday considerava essas três categorias como gerais e presentes em todo ato comunicacional completo, ele as denominou metafunções da linguagem.

A função ideacional da linguagem é realizada quando representamos e comunicamos atributos de objetos e eventos ou relações entre os mesmos. Trata-se, pois, da função referencial da linguagem mediante a qual tornamo-nos capazes de constituir mundos por meio do discurso, habitados por pessoas, objetos, processos, atividades, relações, que estão situados no tempo e no espaço (HALLIDAY, 1976; KRESS et al., 2001; LEMKE², 1998b).

Halliday (1976, p. 136) afirma que, “ao desempenhar tal função, a linguagem estrutura a experiência e ajuda a determinar nossa maneira de ver as coisas, de modo que exige algum esforço intelectual vê-las de outra maneira que não aquela que nossa linguagem nos sugere”.

Além de permitir a apresentação de nosso modo de conceber ou idealizar um aspecto do mundo (metafunção ideacional), cabe também à linguagem a função de mediar a interação entre as pessoas, permitindo a manifestação de condições sociais, atitudes individuais e sociais, avaliações, julgamentos, posicionamento afetivo, entre outros.

² Lemke se baseia nos trabalhos de Halliday, mas propõe a utilização de outros nomes para as três metafunções: Presentational, Orientational e Organizational.

Empregada desse modo a linguagem cumpre uma função interpessoal. A função interpessoal proporciona o estabelecimento de relações entre o enunciador, o enunciatário e o conteúdo temático da mensagem. É por meio da metafunção interpessoal que nos dirigimos ao outro como autoridade ou como semelhante; que solicitamos que o outro assuma um papel de ouvinte ou de respondente; que incitamos o outro a ver um determinado conteúdo que apresentamos como passível de questionamento ou como verdade não questionável (HALLIDAY, 1976; KRESS et al., 2001; LEMKE, 1998b).

Por fim, quanto à metafunção textual da linguagem, vejamos o que diz o próprio Halliday:

... cumpre à linguagem possibilitar o estabelecimento de vínculos com ela própria e com as características da situação em que é usada. Podemos chamar a este aspecto função textual, pois é a que capacita o falante e o escritor a construir “textos”, ou passagens encadeadas de discurso que sejam situacionalmente apropriadas; outrossim, ela capacita o ouvinte ou o leitor a distinguir um texto de um conjunto aleatório de orações. (HALLIDAY, 1976, pp. 137)

Embora Halliday tenha se ocupado em aplicar estas categorias apenas à linguagem verbal, oral e escrita, ele não deixou de apontar que elas poderiam ser aplicadas a outros modos semióticos de comunicação humana. Seguindo esta direção, Kress e van Leeuwen (1996) estenderam as categorias de Halliday aos modos visuais e gestuais/acionais³. Dessa feita, tudo o que foi dito a respeito da linguagem nos parágrafos anteriores pode ser entendido em um sentido mais amplo, onde o termo “linguagem” passa a envolver os modos verbais, visuais e acionais/gestuais. Kress et al. (2001, p. 4) afirmam que as metafunções não são apenas descrições da linguagem verbal, mas são descrições da semiose humana, de uma forma mais geral. Veremos que a ampliação da aplicação das metafunções de Halliday aos demais modos de comunicação traz implicações importantes para o ensino de ciências.

Os sentidos que podem ser atribuídos a qualquer texto vêm da interação entre essas três metafunções básicas da linguagem. Cada um dos aspectos ideacional, interpessoal e textual, pode ser visto como o resultado da escolha, por parte do produtor do texto, entre um amplo espectro de possibilidades, das características significantes mais apropriadas para atingir um objetivo definido no ato de comunicação (KRESS et al., 2001, p. 13). Essa interação entre as metafunções da linguagem e os sentidos que dela podem emergir, foram mostrados por Guo (2004) ao analisar aspectos da leitura e significação de desenhos esquemáticos e de gráficos cartesianos presentes em livros didáticos de biologia.

Portanto, seja em um gênero particular como o livro didático, seja nos diversos gêneros que compõem as situações cotidianas e informais de comunicação, o papel

³ Falaremos mais especificamente sobre os modos de comunicação em uma seção mais adiante.

mediador da linguagem pode ser compreendido a partir da consideração das três metafunções propostas por Halliday. Há que se considerar, no entanto, algumas particularidades que distinguem a linguagem científica da linguagem cotidiana. De acordo com Mortimer (1998, *apud* BRAGA e MORTIMER, 2003, p. 57) a linguagem científica possui uma estrutura sintática e discursiva própria e faz uso de um léxico específico. Isso implica, de acordo com Braga e Mortimer (2003), que aprender ciências envolve também aprender a linguagem das ciências: seu vocabulário específico, seus processos de pensamento, sua forma de construir e validar o conhecimento e suas formas peculiares de discurso.

A forma particular assumida pelos gêneros relacionados à comunicação do conhecimento científico provém dos modos de comunicação e pensamento empregados na elaboração dos textos, bem como da forma particular assumida pela organização desses modos. Por isso, passaremos, na próxima sessão, a discutir sobre as especificidades dos diferentes modos de comunicação usados nas ciências e a apontar características dos textos multimodais usados nas ciências.

1.2 Modos de comunicação e multimodalidade

Nos mais variados processos envolvendo a comunicação entre seres humanos é comum o emprego de formas variadas de apresentar a informação que se quer comunicar. Quando um adulto chama a atenção de uma criança por meio da fala é comum que ele utilize também uma prosódia e uma expressão facial que demonstram seriedade, em vez de um belo sorriso aberto ou de uma entonação que sugere calma e serenidade; as páginas de um manual de instruções para a montagem de uma simples antena de TV possuem desenhos das partes da antena distribuídos ao longo do texto verbal impresso nas páginas; na propaganda de um produto na televisão aparece, por vezes, uma imagem do produto ao lado do apresentador, que fala e gesticula enquanto apresenta as vantagens do produto aos telespectadores. Todas essas formas empregadas pelos indivíduos nos processos de comunicação (palavras faladas, palavras escritas, gestos, entonação da voz e imagens) constituem exemplos de modos de comunicação e pensamento (KRESS e BEZEMER, 2009).

Modos de comunicação e pensamento, ou simplesmente modos, são meios de comunicação trabalhados, moldados e organizados por uma cultura, em um conjunto de sistemas de significação, ou sistemas semióticos, para exprimir com ênfase e redundância os sentidos solicitados pelas necessidades práticas e sociais. Em outras palavras, um modo é um recurso para a comunicação que é social e culturalmente configurado para produzir significados (KRESS et al., 2001; KRESS e BEZEMER, 2009). Podemos citar como

exemplos de modos a escrita, a fala, as imagens estáticas, as imagens em movimento, os gestos, entre muitos outros.

Os modos utilizam diferentes e variados recursos semióticos para a produção de significados. Vejamos o caso da escrita.

A escrita é um modo que vem sendo utilizado e trabalhado pelos seres humanos há milhares de anos. Esse modo, mais recentemente, faz uso de um amplo espectro de recursos semióticos para a produção de sentidos pelo leitor, como por exemplo, o parágrafo, os espaços em branco que delimitam um conjunto de letras, o negrito, o itálico, o tamanho e o tipo da fonte, além, é claro, do significado próprio das palavras inscritas sobre um dado suporte (papel ou tela de computador, por exemplo).

O parágrafo informa ao leitor que todo aquele bloco de texto trata de um assunto comum e os espaços em branco delimitam as palavras ou significantes. O negrito e o itálico são utilizados como recurso para atrair a atenção do leitor para alguma informação relevante. Em algumas obras traduzidas, o itálico indica palavra introduzida pelo tradutor. Em outros casos, o itálico sinaliza o uso de uma palavra originária de outra língua. O tamanho e o tipo da fonte são usados para diferenciar títulos, subtítulos e legendas do restante do texto em uma página impressa.

Ao longo de séculos de utilização, a escrita e seus recursos semióticos vêm sofrendo alterações no sentido de atender às demandas de comunicação solicitadas pelas culturas onde são utilizadas. Ao tecer considerações sobre o modo da escrita, Kress (2003, p. 63) afirma que:

Na Europa da era medieval e do início da idade moderna, a escrita não tinha espaços em branco para delimitar cada palavra – o conhecimento das palavras na escrita era devido ao conhecimento das palavras na linguagem falada. Os sistemas de convenção e os dispositivos de fala estavam tão ligados e intrincados que na transliteração da fala, que era a escrita, as palavras não precisavam de limites gráficos. (tradução nossa)

Aderir a essa perspectiva da semiótica social, de que os modos são recursos trabalhados, desenvolvidos e moldados de forma muito própria por comunidades particulares, implica que a definição do que vem a ser especificamente um modo é algo fluido e de contornos imprecisos. Em outras palavras, não é possível definir o que é ou não um modo de comunicação, a não ser para uma cultura particular, uma vez que diferentes comunidades podem divergir quanto ao que consideram como um modo de comunicação e pensamento. Para um usuário “comum” da escrita o tipo de fonte é apenas um dos recursos semióticos do modo da escrita. Já para um produtor gráfico, o tipo de fonte pode ser um modo independente e não apenas um recurso que compõem um modo. Nesse sentido, esse tipo de sujeito escolhe diferentes tipos de fonte para comunicar diferentes significados (KRESS e BEZEMER, 2009, p. 67).

Um raciocínio semelhante pode ser aplicado à representação da figura 1.1, ao lado. Para aqueles não iniciados no estudo da química e nas práticas de comunidades de físicos, químicos e professores das ciências, a figura 1.1 é simplesmente uma justaposição de números situados ao lado de uma letra maiúscula. Os recursos semióticos sobrescrito, subscrito e maiúsculo serão provavelmente identificados, mas o símbolo apresentado na figura não será decodificado. Já para os membros de comunidades que compartilham a forma como físicos e químicos leem tal representação, os mesmos recursos passam a ser interpretados como associados a um modo específico de comunicação: a representação de elementos químicos. Nesse contexto, a inscrição da figura 1.1 representa um dos isótopos do átomo de Urânio, com 92 prótons e 143 nêutrons.

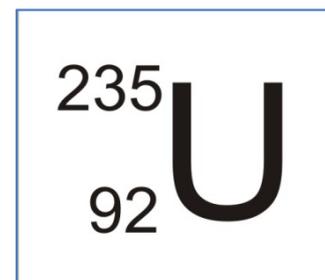


Figura 1.1 – Inscrição utilizada em livros de física e química para representar um dos isótopos do Urânio.

Considerações como as apresentadas nos parágrafos anteriores estão na base da hipótese, apresentada logo a seguir, e levantada por Kress et al. (2001, p. 43), a respeito do ensino de ciências. Para esses autores:

... educadores em ciências podem ter desenvolvido modos de comunicação e representação que não são considerados como tais por outras comunidades. A consequência disso é que aprender ciência é, em parte, aprender a reconhecer os modos daquela comunidade. (tradução nossa)

Esse aspecto tem fundamental importância em nossa pesquisa, uma vez que estamos interessados em analisar aspectos da integração entre modos verbais e visuais nos livros didáticos de Física, um dos instrumentos utilizados para permitir o acesso dos estudantes a alguns aspectos dos modelos e teorias produzidos pela ciência.

Embora não seja possível definir com precisão o que é um modo, alguns trabalhos parecem considerar três grandes conjuntos de modos: i) os modos verbais; ii) os modos gestuais/acionais; iii) os modos visuais (MARTINS e PICCININI, 2004; ROTH et al., 2005; KRESS et al., 2001). A seguir, trataremos sobre algumas das especificidades de cada um desses grandes grupos.

Os modos verbais compreendem a fala e a escrita nos mais diversos meios e formas: livro, revista, caderno, folheto, conversa pessoal, reprodução da voz gravada, canto, entre muitos outros. Esses modos têm a particularidade de fazerem uso de um léxico e de dependerem da apresentação seqüencial, no tempo, das palavras que compõem esse léxico. No caso da fala, a dependência do tempo é incontestável, uma vez que uma palavra só pode ser dita após a outra e o ouvinte recebe e significa, também, uma palavra após a outra. Na escrita, o leitor pode perceber as várias palavras ao mesmo tempo, o que é

também uma característica dos modos visuais, pois elas estão dispostas sobre a folha impressa. Ainda assim, a leitura do texto verbal escrito é, em geral, linear, com o leitor seguindo uma palavra após a outra.

Uma diferença importante entre os modos verbais orais e escritos é a existência, nesses últimos, de uma infinita gama de possíveis caminhos de leitura. O leitor pode retroceder na leitura de parágrafos anteriores e voltar a refletir sobre eles por quanto quiser ou puder.

Os modos gestuais/acionais compreendem as manifestações gestuais dos mais diferentes tipos: movimentos do corpo, incluindo-se aí os gestos com braços, pernas, tronco e expressões faciais, manipulação de objetos, mímica, dança, entre outros. Esses modos também possuem a peculiaridade de dependerem do tempo, uma vez que um movimento ocorre, necessariamente, após o outro, mas também dependem do espaço, pois os gestos são executados em ambientes tridimensionais e as configurações momentâneas do corpo que gesticula são também imagens espaciais.

Por fim, os modos de comunicação estritamente visuais compreendem fotografias, pinturas, desenhos, esculturas, ícones, gráficos e outros. Uma particularidade desses modos é que eles não dependem do tempo. Ao perceber uma fotografia ou um desenho em um livro, todos os elementos estão conjuntamente disponíveis para o leitor/observador. A dependência, no caso dos modos visuais é fundamentalmente espacial e o posicionamento dos elementos é um dos recursos semióticos empregados na produção de sentidos, conforme mostram Kress e van Leeuwen (1996) e Kress (2003).

Como fica evidente pelos três últimos parágrafos é muito complicado estabelecer limites precisos para classificações envolvendo os diferentes conjuntos de modos. Os modos concretos nunca são apenas visuais, verbais ou acionais. Na escrita, por exemplo, além dos recursos dos modos verbais, o leitor/escritor tem à sua disposição recursos dos modos visuais, como o negrito, o itálico, o tipo e o tamanho da fonte, a posição das palavras na página impressa, entre outros. Os modos gestuais são em certa medida também visuais, uma vez que a disposição dos gestos no espaço é de fundamental importância para a produção de sentidos. Um filme faz usos dos modos gestuais/acionais, mas também é utilitário dos recursos dos modos visual e verbal: o posicionamento no espaço, as cores empregadas na cena, os diálogos travados pelos personagens, tudo isso coopera para a produção de sentidos. Talvez por isso fosse preferível falar em matrizes e não em conjuntos de modos. Essa é a escolha feita por Santaella (2005) que coloca a Semiótica de Peirce em diálogo com a psicologia cognitiva. A opção da autora por essa linha da psicologia, contudo, se afasta do referencial que escolhemos perseguir em nossa pesquisa.

A implicação que tais considerações trazem para o nosso trabalho é que não podemos analisar a integração dos diferentes modos sem considerarmos aspectos

referentes à diagramação do texto. Não podemos focar nossa atenção no texto verbal sem considerarmos os recursos visuais de posicionamento das palavras na página impressa, o tamanho e o tipo da fonte utilizada, o emprego do negrito e do itálico. Também não podemos olhar para as inscrições sem considerarmos, em alguma medida, as cores utilizadas na elaboração das mesmas, a proximidade relativa entre legenda verbal interna e os elementos visuais, os recursos visuais que conferem a idéia de movimento aos elementos representados.

Além de possuírem dependências espaço-temporais distintas, os diferentes modos de comunicação apresentam potencialidades e limitações também distintas para a produção de sentidos. Isso decorre tanto das características intrínsecas dos modos, quanto do trabalho semiótico que uma determinada cultura estabelece como procedimento de produção, circulação e significação do modo. A fala, por exemplo, não é um modo muito apropriado para indicar variações contínuas de grandezas ou relações topológicas complexas de proximidade ou afastamento. Gestos, imagens e gráficos atendem melhor a essas demandas comunicativas (LEMKE, 1998a, p. 87).

Vejamos agora algumas considerações sobre a dependência espaço-temporal. A figura 1.2, ao lado, retirada de um livro didático de química para o Ensino Médio (USBERCO e SALVADOR, 2009, p. 447), articula diversos modos. Roth et al. (2005, p. 160) analisam uma figura muito semelhante e a inserem na categoria de inscrições em camadas, sobre a qual falaremos mais adiante. As camadas ou modos visuais identificáveis nessa figura são cinco: os gráficos cartesianos de pressão *versus* volume; os ícones de cilindro, pistões e pesos; as representações de partículas em movimento contidas nos cilindros; as setas ou símbolos para representação da pressão; as legendas interna e externa. Todas essas camadas ou modos têm a característica de dependerem fortemente do espaço.

Essa dependência implica uma lógica particular de significação que conta não apenas com os elementos representados na figura, mas também envolve as cores que são utilizadas, a proximidade entre texto verbal e imagens, o tamanho dos elementos desenhados, a disposição dos elementos dentro do quadro da figura, os recursos gráficos (sombra em dégradé) que visam conferir a ideia de movimento à figura estática das partículas contidas nos cilindros. Todos esses elementos contribuem para a produção de

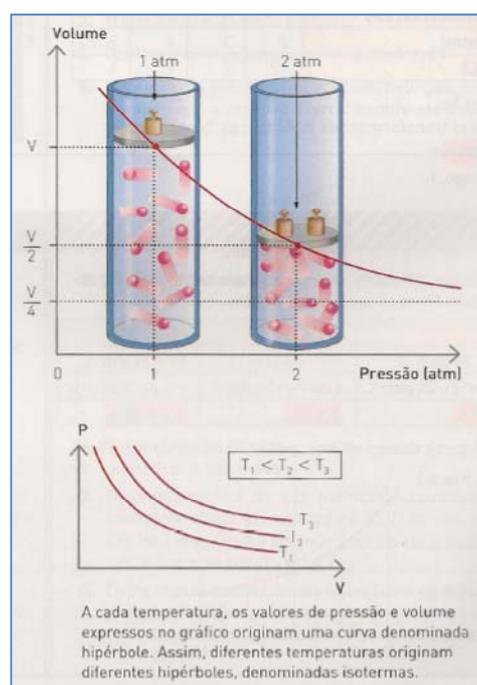


Figura 1.2 – Inscrição utilizada na composição de um texto multimodal sobre transformação isotérmica.

sentidos e, obviamente, não foram incluídos no desenho sem uma intenção prévia. Além disso, todos os elementos já se apresentam ao leitor no momento em que ele vê a imagem.

Em contrapartida, nos modos dependentes do tempo, como a escrita e, principalmente, a fala, as informações não estão todas disponíveis imediatamente, mas são oferecidas uma após a outra. No caso da fala, para a construção de sentidos, o falante emprega um recurso semiótico conhecido como prosódia, que compreende mudanças na entonação da voz, modificações na intensidade sonora, pausas, entre outros. O escritor se vale de pontuação gráfica, tipo e tamanho da fonte, entre outros recursos já mencionados anteriormente.

Uma conclusão a que se pode chegar a partir das colocações anteriores é que o caminho de leitura em cada um dos casos é muito particular. O caminho de leitura de um texto é o percurso trilhado pelo leitor enquanto tenta apreender o sentido do texto pelos processos de interpretação dos signos que o compõem. Nos modos verbais o caminho de leitura é mais bem definido; um caminho pré-estabelecido em função de existir a necessidade de se ler uma palavra após a outra para que o sentido do texto seja construído. Já nos modos visuais, mesmo que o produtor do texto tenha elaborado um caminho de leitura, utilizando setas ou outros recursos semióticos, esse caminho pode ser completamente ignorado pelo leitor, uma vez que todos os signos que compõem o modo já estão disponibilizados para o leitor desde o primeiro olhar. Nesse tipo de modo, o caminho de leitura do texto não obedece a uma ordem linear e estabelecida previamente. O leitor pode iniciar a leitura por um aspecto da imagem, então vai ao texto verbal, depois volta à imagem e assim por diante (KRESS, 2003; LEMKE, 1998a; GUO, 2004).

As particularidades que apresentamos anteriormente, exibidas pelos diferentes modos, têm implicações sobre a forma como certa cultura molda e utiliza um determinado modo. Suponha um agente de uma empresa de turismo tentando vender um pacote de viagem para um turista. Em geral, o turista tem interesse em visitar importantes construções, observar belas paisagens, conhecer lugares diferentes. O agente de viagens normalmente apresenta fotografias aos seus clientes, ao invés de apenas descrever as paisagens com palavras. Se o agente tentasse descrever os locais apenas com palavras, a imagem que o turista formaria em sua mente poderia ser um tanto diferente daquela que o agente tenta comunicar, uma vez que um trabalho semiótico maior e menos sujeito a interdições do enunciador seria necessariamente realizado pelo turista, isto é, haveria mais espaço a ser preenchido pelo turista no processo de comunicação.

Dizer que nas praias do Caribe a água possui um verde tão claro que parece iluminar os cardumes de peixes de colorido intenso, que nadam entremeio a recifes de corais que parecem plantados em um imenso jardim de areias alvas, pode ser bastante apropriado para um poema, mas não tanto para a tarefa de convencer um turista a pagar um

determinado valor para estar naquele local. Uma fotografia da praia é muito mais eficiente e convincente nesta tarefa, mesmo que os turistas tenham a consciência de que as fotografias possam mentir, por capturar um momento específico de uma paisagem em transformação ou por terem sido artificialmente editadas.

O maior potencial de significação das pinturas, fotografias e desenhos naturalísticos para a caracterização de paisagens, em relação ao potencial da linguagem verbal para cumprir o mesmo objetivo é apenas um exemplo de um fenômeno mais amplo que fez com que ao longo de séculos de utilização, os modos adquirissem especializações funcionais. Isso significa que alguns modos atendem muito bem a determinadas demandas cognitivas e comunicativas, enquanto outros nem tanto. Como dito anteriormente, isso depende tanto das características do modo, quanto do uso que se faz dele em uma comunidade, afinal, os modos não existem de forma independente das sociedades que os utilizam, mas são frutos do trabalho semiótico dessas sociedades sobre os meios de comunicação.

Isso nos ajuda a entender porque em comunidades de cientistas se utilizam tantos diagramas, desenhos esquemáticos, gráficos e expressões algébricas. Esses modos são altamente eficientes para atenderem às demandas cognitivas e comunicativas daquelas comunidades, que, muitas vezes, estão interessadas em estabelecer relações de covariação contínua entre grandezas, em propor leis fundamentais que possam ser aplicadas a inúmeras situações, em produzir modelos de realidades não observáveis. Já em comunidades de pessoas que lidam com marketing e propaganda, os modos mais empregados são os desenhos icônicos e as fotografias.

Durante muito tempo atribuiu-se à linguagem verbal, isto é à fala e à escrita, um papel preponderante nos atos de comunicação. A utilização de figuras, gráficos ou outros modos não-verbais de comunicação era meramente ilustrativa, sempre acompanhando o texto verbal. Kress (2003, p. 46) afirma que:

Em livros textos escolares de trinta, quarenta anos atrás, muito da carga comunicativa era carregada pela escrita; agora essa relação está se invertendo e muito ou a maior parte da carga está associada a imagens de vários tipos. (tradução nossa)

O que se observa atualmente é um crescente interesse pelos modos de comunicação não verbais: gestos, fotografias, gráficos, expressões faciais, música, entre outros. Por isso, nos últimos anos, vem crescendo o número de trabalhos que se preocupam em estudar não apenas o uso do modo verbal nos processos de comunicação humana, mas também o papel e a importância das “linguagens” visuais e gestuais nas mais diferentes situações comunicativas: propagandas, cartilhas sobre orientações legais, ensino de línguas, ensino de ciências (MOZDENSKI, 2008; PEREIRA et al., 2009; KRESS e van LEEUWEN, 1996; KRESS, 2003; LOMBARDI et al., 2005; ROTH et al., 2005). Questionar o

papel central atribuído aos modos verbais nas situações em que ocorre um evento comunicativo é tão necessário quanto legítimo se desejamos compreender a comunicação entre seres humanos em uma dimensão mais ampla.

Jay Lemke nos apresenta estudos que mostram que o fazer da ciência não se realiza apenas pelos modos verbais, mas também por meio dos modos visuais e gestuais. Lemke (1998a) analisa diversos artigos de periódicos de grande prestígio na comunidade científica, como o *Physical Review Letters*, *Science*, *Nature* e *Bulletin of the New York Academy of Medicine* e constata que nos artigos, além do texto verbal, é comum aparecerem também desenhos esquemáticos, gráficos, fotografias e expressões algébricas, em maior ou menor quantidade, conforme o periódico. Lemke (1998a) observa, ainda, que as informações comunicadas por um modo nem sempre são comunicadas por outro, o que leva o autor a concluir que esses modos são irredutíveis um ao outro, no sentido de que se faz necessário que sejam empregados em conjunto para a produção de determinados significados.

A partir de Lemke (1998a), interpretamos os processos de produção da ciência descritos por Latour e Woolgar (1997), como uma coordenação multimodal de fala, escrita, expressões algébricas, representações gráfico-visuais e operações motoras (gestos/ações). Latour e Woolgar (1997) fazem uma incursão em um laboratório de Neurofisiologia com o objetivo de estudar a produção dos fatos científicos. Para cumprir esse objetivo eles passam a fazer parte da vida desse laboratório observando o agir dos cientistas, tanto no laboratório, onde dissecam cobaias e operam máquinas para isolar substâncias, quanto nos escritórios, onde redigem os artigos que serão enviados para publicação. Esses autores descrevem em pormenores as atitudes dos cientistas coordenando os técnicos que operam as máquinas e equipamentos, produzindo tabelas e gráficos que, por fim, estarão nos artigos científicos.

Não é necessário realizar um estudo aprofundado para perceber que algo muito semelhante ocorre nos processos de comunicação ordinários, corriqueiros. Os exemplos já citados no início desta seção permanecem válidos. A eles podem ser somados muitos outros, como um show de rock, um vídeo game ou um outdoor. Em todos esses casos mais de um modo é utilizado para a comunicação. Uma característica fundamental das produções multimodais é a existência de diferentes lógicas de significação, advindas dos diferentes modos: gestuais/acionais, visuais e verbais.

A hipótese de Lemke (1998a) para explicar as evidências de integração e coordenação entre diferentes modos em um mesmo texto científico recai sobre o fato de que esses elementos participam dos mesmos processos concretos de comunicação humana e o fato de serem utilizados historicamente ao longo dos anos.

O estatuto multimodal dos processos de comunicação humana levanta uma importante questão, que está no cerne de nosso trabalho de pesquisa. Se apenas um modo fosse utilizado na produção de um texto qualquer, seja oral ou escrito, apenas alguns

recursos semióticos contribuiriam para a produção de sentidos por parte de quem interpreta esse texto. No entanto, quando mais de um modo é empregado em um mesmo processo de comunicação, cada modo contribui de forma particular para a produção de sentidos e, além disso, a própria combinação dos diferentes modos também contribui para a significação, de forma a multiplicar os possíveis significados que um determinado texto pode oferecer (LEMKE, 1998a; KRESS et al., 2001). A questão da integração entre os diferentes modos nos parece, desta forma, crucial para a significação.

Nas próximas subseções, trataremos de alguns aspectos dos modos verbais, mais especificamente da escrita (os tipos textuais) e dos modos visuais que podem ser encontrados nos textos didáticos de física (fotografias, desenhos esquemáticos, desenhos icônicos, gráficos, tabelas e expressões algébricas).

1.2.1 – Os tipos de texto

Em livros didáticos de Física, como aqueles que serão utilizados em nossa análise, é comum o emprego de modos verbais, na forma de um texto escrito, juntamente com modos não verbais, como fotografias, desenhos, gráficos, tabelas e expressões algébricas. Longe de se apresentar como um bloco monolítico uniforme, o texto verbal do livro didático se constitui mediante a integração de um conjunto de diferentes tipos de textos, cada qual com sua especificidade. Tal afirmação é uma extrapolação do trabalho de Braga e Mortimer (2003), que mostra que o livro didático de biologia do ensino fundamental se constitui em um gênero de discurso particular, que comporta diferentes tipos de textos, como explicações, classificações, descrições, definições e metáforas gramaticais. Nesta seção, trataremos brevemente sobre os diferentes tipos textuais.

Para Bakhtin (1997) os gêneros textuais são tantos, quantas forem as atividades nas quais os seres humanos se engajam. Isso levou ao que Marcuschi (2003, p. 29) definiu como uma “desistência progressiva de teorias com pretensão a uma classificação geral dos gêneros”. Em parte, tais teorias estariam fadadas ao fracasso uma vez que novos gêneros podem ser criados ou gêneros já classificados podem desaparecer com o tempo, visto que os gêneros textuais “são artefatos culturais construídos historicamente pelo ser humano” (MARCUSCHI, 2003, p. 30).

A noção de gênero textual está ligada às esferas de comunicação humana, isto é, aos textos materializados nos eventos de comunicação reais. Esses textos apresentam características sócio-comunicativas definidas por conteúdos, propriedades funcionais, estilo e composição temática. Embora os gêneros textuais sejam eventos linguísticos elaborados nas mais diversas esferas da atividade humana, eles não são efetivamente definidos por

características linguísticas e sim pelas atividades sócio-discursivas nas quais são utilizados (MARCUSCHI, 2003).

Marcuschi (2003) faz uma distinção entre as noções de gênero e tipo textual. Para esse autor, os tipos textuais podem ser teoricamente definidos pela natureza linguística de sua composição e compreendem algumas poucas categorias: narração, argumentação, exposição, descrição e injunção. Bronckart (2003) utiliza o termo **sequência textual** para designar aquilo que Marcuschi chama de **tipo textual**. Baseando-se nos trabalhos de Jean-Michael Adam, Bronckart (2003) trabalha com a definição de seis sequências textuais: narrativa, descritiva, argumentativa, explicativa, dialogal e injuntiva.

Novos trabalhos sobre os gêneros textuais e discursivos envolvidos nos processos de comunicação nas ciências naturais têm ampliado o conjunto de tipos de textos para além daqueles mencionados por Marcuschi (2003) e Bronckart (2003). Mortimer e Scott (2003) utilizam as categorias explicação e generalização para analisar os discursos que ocorrem entre professora e alunos em uma aula de Química. Estendendo um pouco mais esta lista de categorias, encontramos o trabalho de Braga (2003), que faz uso das sequências textuais definição e classificação em sua pesquisa sobre os textos dos livros didáticos de Biologia do ensino fundamental e o trabalho de Araujo (2008), que utiliza, além daquelas já mencionadas, a categoria exemplificação na análise das interações discursivas que ocorrem em aulas práticas de Química.

Essa necessidade de ampliação dos tipos textuais pode ser entendida quando pensamos os gêneros como produções sócio-históricas trabalhadas e moldadas por uma cultura a fim de que eles atendam a uma determinada demanda de comunicação. O trabalho dos cientistas, por vezes, envolve classificações de espécies ou fenômenos; a busca por leis naturais de caráter geral que possam ser aplicadas a inúmeros fenômenos; o estabelecimento de definições que permitam expressar processos e fenômenos complexos com uma única palavra ou expressão.

Todavia, uma dificuldade associada ao processo de ampliação acima mencionado, advém do fato dele ter sido realizado por pesquisadores em ensino de ciências sem formação específica na área de linguística. Sendo assim, os tipos textuais explicação, definição, generalização, classificação e exemplificação não são definidos com o mesmo rigor linguístico encontrado nas definições realizadas, por exemplo, por Marcuschi ou Bronckart. Apesar disso, nós trabalharemos nessa zona de ampliação e, assim, contribuiremos para o aumento da demanda por uma colaboração mais estreita entre pesquisadores em ensino de ciências e em linguística aplicada.

Nesta subseção optamos apenas por apresentar os diferentes tipos de textos, sem, contudo, definirmos cada um deles. Apresentaremos as definições que caracterizam cada tipo de texto na subseção 1.3, que trata da função retórica dos tipos de textos encontrados

nos livros didáticos. Nessa ocasião, faremos uma aproximação entre o estatuto dialógico das diferentes sequências textuais (BRONCKART, 2003) e a função retórica que os textos e discursos utilizados no âmbito da educação em ciências visa desempenhar junto aos estudantes (KRESS et al., 2001). Na próxima subseção, faremos algumas considerações a respeito dos diferentes tipos de inscrições encontrados nos livros didáticos de Física analisados nessa pesquisa.

1.2.2 – Inscrições didáticas

Assim como uma página de um livro didático pode conter diferentes tipos de textos verbais, o mesmo pode ocorrer com relação aos textos não-verbais, como gráficos, expressões algébricas, desenhos, fotografias, diagramas e tabelas. Tais recursos vêm sendo denominados na literatura como inscrições didáticas, um termo que remete ao conceito de inscrições e aparelhos inscrites de Bruno Latour, conforme apresentado a seguir.

Ao sumarizar a história pessoal ou biográfica que nos conduziu ao objeto da pesquisa apresentada nesta dissertação, fizemos uma breve referência ao trabalho de ROTH et al. (2005), no qual encontramos modelos semânticos e semióticos criados para analisar o processo de interpretação de inscrições didáticas. A leitura desse trabalho permitiu um primeiro contato de nossa parte com esse termo e ao incluí-lo no rol de nossas escolhas terminológicas acabamos nos alinhando a outros autores (ver, por exemplo, BOWEN e ROTH, 2005; WU e KRAJCIK, 2006), que utilizam o mesmo termo com uma orientação similar àquela que passamos a adotar. Temos empregado o termo inscrição didática para designar representações não-verbais, externas, constituídas por um ou mais signos.

A princípio, uma inscrição pode cumprir diversas funções, tais como:

- 1- estabelecer relações entre os mundos vivido e concebido, aproximando-se mais de um ou de outro, em função dos níveis de abstração e de informação contextual dos signos contidos na inscrição;
- 2- registrar dados e reter informação relevante (apoio à memória);
- 3- coordenar conjuntos complexos de informações em estruturas com coesão e coerência;
- 4- apresentar dados publicamente (compartilhar informações);
- 5- identificar padrões e regularidades ou a ausência dos mesmos;
- 6- organizar informações transformando-as em dados;

- 7- gerar previsões quantitativas acerca do comportamento de grandezas físicas usadas na descrição e na explicação de fenômenos;
- 8- descrever fenômenos difíceis de serem descritos com palavras ou fenômenos inobserváveis (que nos remetem a entidades e processos microscópicos ou super-microscópicos);
- 9- ilustrar conceitos abstratos ou descrever modelos teóricos.

A noção de inscrição foi originalmente utilizada por Latour e Woolgar (1997) para caracterizar, de um ponto de vista etnográfico e sociológico, o processo de produção de conhecimentos nas ciências naturais. Na obra desses autores, tal noção é progressivamente construída à medida que vai sendo utilizada para descrever diversos aspectos da “vida” de um laboratório de pesquisas em neurofisiologia. Uma inscrição é definida, inicialmente, como um registro sintético de informações e conhecimentos produzidos em um laboratório de pesquisa, que pode se apresentar na forma de fluxogramas, números de registro, espectros ou gráficos, por exemplo. A produção de artigos científicos por meio dos quais os resultados das pesquisas são publicados giram em torno das inscrições. A esse respeito, Latour e Woolgar (1997, p. 45) nos dizem que:

A noção de inscridor tem uma consequência essencial: ela estabelece uma relação direta com a “substância original”. As discussões sobre a propriedade da substância têm como foco o esquema ou a curva. A atividade que separa essas duas etapas e os processos – por vezes longos e caros – que elas desencadearam ficam ocultados quando se discute o significado dos dados obtidos. O diagrama final torna-se ponto de partida do processo sempre renovado de escrita dos artigos sobre a substância em questão. Nos escritórios são produzidos os artigos que comparam e opõem esses diagramas a outros que com eles se parecem, e aos que se encontram nos artigos já publicados.

Na obra de Latour (LATOUR e WOOLGAR, 1997; LATOUR, 2000) a noção de inscrição desempenha um papel central para a compreensão dos processos a partir dos quais os enunciados são transformados em fatos e passam a ser utilizados na produção de novos fatos e de novos conhecimentos. Ao participarem desses processos, muitas inscrições acabam por serem confundidas com os próprios fenômenos dos quais surgiram, apesar de não poderem ser adequadamente consideradas como substitutos autênticos desses fenômenos e nem mesmo como suas representações. A forte associação entre um fenômeno investigado em um empreendimento científico e as inscrições produzidas nessa investigação faz com que uma inscrição particular, como um gráfico, por exemplo, possa vir a ser considerada como um avanço científico ou como uma evidência favorável ou contrária a uma dada teoria.

Na tese de doutorado de Paula (2004), encontramos apoio para a afirmação de que, tanto a produção das inscrições, quanto o ato de inscrevê-las em um texto que reúne certo

fragmento do conhecimento produzido na “vida” de um laboratório, não devem ser compreendidos meramente como um método de transferência de informação. Trata-se, isso sim, de um conjunto de ações por meio das quais se dá a criação de ordem em um universo caótico, de acontecimentos que não passariam de um amontoado de sensações desordenadas e desprovidas de significado, sem o auxílio dos conceitos e teorias que dão sentido às inscrições e aos conhecimentos gerados a partir delas.

Homologamente ao papel que desempenham as inscrições nas ciências, a função de uma inscrição didática é a de recriar uma ordem diretamente derivada dos mundos concebidos pelas ciências, de modo a permitir o acesso dos estudantes a esses mundos. Trata-se de uma ferramenta cultural criada e utilizada nas ciências naturais e adaptada para promover a educação em ciências.

Cabe ressaltar que o termo adaptação empregado no parágrafo anterior denota uma transformação desses recursos para que eles passem a integrar o texto de um livro didático. Retomamos o trabalho de Braga e Mortimer (2003) para afirmar que o texto didático não é o gênero científico, mas é um gênero particular, composto por elementos dos gêneros científico, cotidiano e didático. A partir dessa concepção do texto didático, podemos afirmar que as inscrições didáticas mantêm semelhanças com as inscrições originais produzidas nos laboratórios, porém, possuem características distintas, pois servem a propósitos diferentes em um artigo científico e em um livro didático.

A figura 1.3, mostrada a seguir, foi inspirada no trabalho de Roth et al. (2005) e situa os diferentes tipos de inscrições entre os mundos vivido e concebido. Os tipos de inscrições que a figura 1.3 reúne são a fotografia, o desenho icônico, o desenho esquemático, o gráfico e a expressão algébrica.

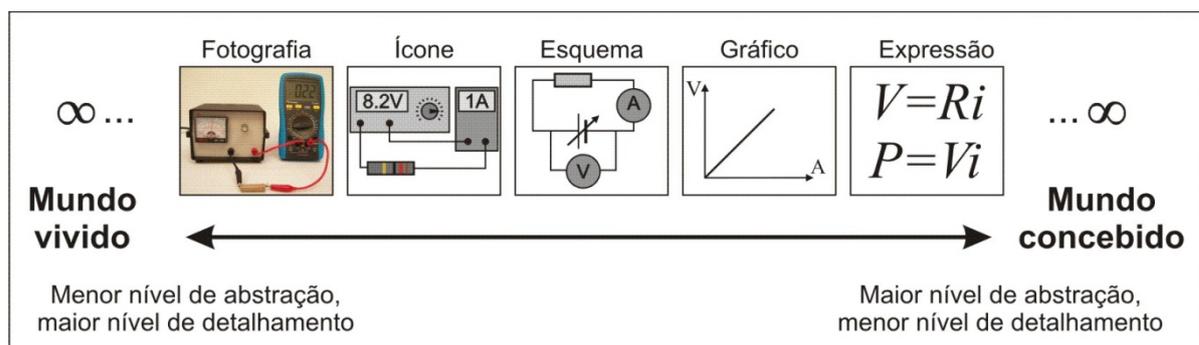


Figura 1.3 – As inscrições se distribuem dentro de um *continuum* que liga os mundos vivido e concebido. Entre duas inscrições vizinhas, ainda que tematicamente relacionadas, existe uma distância que precisa ser preenchida por práticas culturais que permitam aos leitores interpretar as inscrições e utilizá-las para compreender e agir em seu mundo.

ROTH et al. (2005) sugerem que é necessário ajudar os aprendizes a transitar entre as diferentes formas de inscrição, tematicamente relacionadas, mas distintas no sistema de significação (ou sistema semiótico) utilizado em sua concepção. Sugerem, também, que os

diferentes tipos de inscrição se distribuem dentro de um *continuum* ontologicamente situado entre o mundo vivido (mundo dos objetos e eventos) e o mundo concebido (mundo dos conceitos e teorias).

O itálico no termo *continuum* serve para nos lembrar que a continuidade que supomos existir, nesse caso, restringe-se à interpenetração entre os mundos vivido e concebido. Desse modo, não há continuidade entre os diferentes tipos de inscrições que compõem a figura 1.3. Muito ao contrário, supomos, com Bachelard (1991 e 1996), que há rupturas necessárias à construção dos mundos possíveis que dão sentido a inscrições mais abstratas e que permitem a transição entre inscrições. Roth et al. (2005) dizem algo similar quando assinalam que muito trabalho semiótico é necessário para se passar de um tipo de representação, mais contextualizada, a outra, mais abstrata.

Se nos movemos na figura 1.3, da esquerda para a direita, aumentamos a quantidade de eventos e fenômenos associados a uma dada inscrição, ao mesmo tempo em que diminuimos a quantidade de informações que ligam a inscrição a um contexto particular. A fotografia presente no lado esquerdo da figura 1.3 diz respeito a um circuito elétrico muito específico, contendo uma fonte de tensão variável, com um voltímetro embutido, e cabos ligados a um resistor comercial, à própria fonte de tensão e a um multímetro configurado como amperímetro. Ao lado da fotografia, o desenho icônico presente na figura 1.3 reproduz a presença dos elementos contidos na fotografia inserindo letras que identificam as unidades de medida do voltímetro embutido na fonte (a letra V que representa a unidade Volt) e do multímetro que funciona como amperímetro no circuito (a letra A que representa a unidade Ampère).

O desenho esquemático da figura 1.3 representa esse tipo de circuito por meio de símbolos que indicam a presença dos mesmos elementos sem a especificação das características dos objetos que aparecem na fotografia. O gráfico sugere que as leituras apresentadas pelo voltímetro e pelo amperímetro estão relacionadas numericamente e que a variação de um desses parâmetros coincide com a variação proporcional do outro. Esse gráfico não se refere a um resistor específico, tal como o que aparece na fotografia e no desenho icônico, mas pode representar a variação entre tensão e corrente em um resistor ôhmico qualquer. Por fim, as expressões algébricas representadas na figura 1.3 não estão ligadas ao contexto particular do circuito ilustrado em outras inscrições reunidas na figura, podendo ser aplicadas a vários dispositivos e situações, incluindo aquelas em que as leituras do voltímetro e do amperímetro não seguem o padrão apresentado pelo gráfico que compõe a figura 1.3.

A escolha dos signos utilizados em cada uma das inscrições da figura 1.3 é mediada por um conjunto de convenções que regulam a circulação e o uso desses diferentes tipos de inscrição em uma determinada comunidade e em um dado conjunto de práticas culturais.

Mesmo na fotografia, a inexistência de outros elementos, além daqueles que podem ser visualizados, sugere a total independência dos fenômenos que ocorrem entre os elementos fotografados em relação ao ambiente no qual esses fenômenos se desenrolam. Desse modo, para que um leitor possa interpretar cada uma dessas inscrições, do modo similar aos membros da comunidade onde as mesmas foram originalmente concebidas, é necessário que ele se aproprie de algum conhecimento compartilhado por esse grupo.

Essa última colocação é muito semelhante ao que defende a semiótica social (KRESS et al., 2001; KRESS, 2003). Posto de modo simples, nessa perspectiva teórica, os signos não existem isoladamente, isto é, não funcionam como signos fora das comunidades em que são produzidos e utilizados. O signo é fruto do trabalho semiótico que uma determinada comunidade faz sobre um dado aspecto de sua realidade, e o produto deste trabalho é a transformação do signo e do sistema do qual ele faz parte em um recurso criado e desenvolvido para atender às demandas cognitivas e comunicativas dessa comunidade.

Essa afirmação tem implicações importantes para a educação em ciências e para a compreensão do papel das inscrições didáticas. A principal implicação é que o caminho para permitir a compreensão e o uso eficaz de inscrições pelos estudantes passa por engajá-los em práticas culturais mediadas por inscrições. Em nosso trabalho procuraremos analisar a forma pela qual os autores de livros didáticos proporcionam situações que levem os estudantes a manipularem, mental ou materialmente, essas inscrições.

Nos parágrafos que se seguem, vamos tratar um pouco mais detalhadamente de algumas especificidades de cada um dos tipos de inscrições didáticas que encontramos nos textos analisados.

1.2.2.1 – Fotografias

Um discurso por demais difundido é aquele em que se afirma que nas últimas décadas temos vivido em uma sociedade onde as imagens têm sido grandemente empregadas na comunicação de informações. As fotografias, devido às características que possuem, assumem a função de representar a “realidade” nos diferentes gêneros em que são empregadas.

Essa grande utilização desse tipo específico de representação visual, não-verbal, é, segundo Roth et al. (2005) e Lemke (1998a), explicada pela facilidade com que esse recurso pode expressar informações em circunstâncias nas quais a linguagem verbal não poderia ser usada ou poderia atuar de forma muito rudimentar. Para Lemke (1998a) as imagens são mais adequadas para representar relações de proximidade, relações de

tamanho e forma, devido à propriedade topológica desse recurso, se comparadas com a linguagem verbal, que é estritamente tipológica.

Observando a figura 1.3 (cf. página 30), percebe-se que as fotografias são as representações mais próximas do mundo vivido e, portanto, do mundo de nossa experiência sensível. Evidentemente, não podemos considerá-las como sendo “a realidade”, pois, afinal, elas congelam no tempo uma perspectiva ou ponto de vista que nos remete a um modo particular de conceber um aspecto da realidade. Atuam, no ato da produção de um registro fotográfico, condições específicas e o olhar do fotógrafo que, obviamente, não é desinteressado. Com todos os detalhes circunstanciais, as fotografias cumprem o papel de parecer uma reprodução da natureza.

Embora as fotografias sejam representações muito particulares de um objeto, sistema ou acontecimento, elas permitem diferentes possibilidades de leitura e interpretação e é necessário que existam mecanismos para restringir e orientar essa leitura. No caso dos livros didáticos, cumprem essa tarefa o texto verbal principal⁴, o texto verbal da legenda e o foco ou perspectiva assumida no ato do registro da fotografia (ROTH et al., 2005). Tomemos como exemplo a fotografia mostrada na figura 1.4, ao lado. Trata-se de uma fotografia presente em um livro didático de Física (PENTEADO E TORRES, 2005, p. 39), em uma seção intitulada “Energia e potência elétrica”, que se encontra em um capítulo destinado ao estudo da eletricidade estática e da corrente elétrica. O objetivo dos autores com esta fotografia não era apresentar o formato ou a marca da lâmpada, mas apresentar as informações de potência e tensão elétricas que aparecem impressas nos aparelhos elétricos.

Para alcançar esse objetivo e evitar que os estudantes se prendessem a características da fotografia sem importância para aquela ocasião, os autores, por meio do texto verbal principal, direcionam o olhar dos estudantes para as informações que julgam relevantes. Ao fazê-lo, eles utilizam no texto um índice dêitico que remete o leitor à fotografia em questão.

O índice que aparece junto ao corpo do texto verbal principal da página em que se encontra a fotografia da figura 1.4 (**Fig. 1.45**) possui uma réplica muito semelhante no texto verbal da legenda da fotografia (**Figura 1.45**) (cf. a legenda da fotografia da figura 1.4).

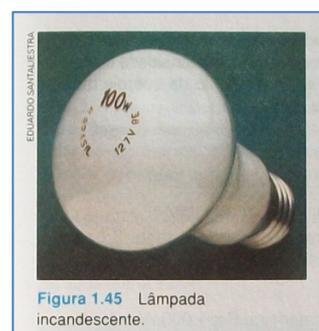


Figura 1.45 Lâmpada incandescente.

Figura 1.4 – Fotografia de uma lâmpada destinada a mostrar as informações de tensão e potência elétricas.

⁴ Estamos utilizando a expressão **texto verbal principal** para nos referirmos ao texto verbal que compõe o corpo do texto impresso na página. Essa denominação nos ajuda a distingui-lo dos textos verbais que aparecem nas legendas interna e externa das inscrições.

Desta forma, a informação relevante anunciada pelo autor no texto verbal pode ser recuperada pelo leitor na fotografia.

O foco da fotografia também contribui para a leitura e interpretação da mesma na medida em que coloca em primeiro plano as características situacionalmente relevantes. Existem outros elementos da lâmpada que, por ocasião da produção da fotografia, foram visualmente desconsiderados, tais como o soquete ou as conexões internas entre o filamento e os terminais. O autor escolheu um tipo de lâmpada que possui um revestimento branco em seu interior. Essa escolha é condizente com a intenção de mostrar as informações de potência e tensão elétricas estampadas na lâmpada. Em uma fotografia de uma lâmpada incandescente com o vidro transparente, tais informações ficariam menos evidentes.

Diferentemente dessa fotografia, em que o fundo é neutro, há casos em que existem outros elementos presentes no fundo, em segundo plano. Nessas situações Roth et al. (2005) chamam a atenção para a questão do foco, pois, nesses casos, é fundamental que o foco explicita as informações relevantes, trazendo-as para o primeiro plano. O fundo, nessa situação, passa a constituir informações de segundo plano ou menos relevantes. Obviamente, há casos em que a fotografia visa mostrar todo um contexto e, nessas situações, não há uma explicitação de um ponto em detrimento de outro.

A integração entre o texto verbal principal, a legenda e a fotografia é um elemento fundamental na definição das diferentes funções que uma fotografia pode exercer em um texto. Para Roth et al. (2005) uma fotografia pode cumprir quatro funções distintas em um texto didático: i) decorativa; ii) ilustrativa; iii) explicativa; iv) complementar. Embora a pesquisa de Roth et al. (2005) trate de textos didáticos de Biologia, acreditamos que o mesmo se aplique aos textos de Física analisados em nossa pesquisa.

As fotografias que cumprem a função decorativa, geralmente, aparecem no início de capítulos ou de unidades e quase nunca são referidas no texto. Nos casos em que as fotografias cumprem uma função ilustrativa elas vêm acompanhadas de uma legenda, que direciona o olhar do leitor, ao nomear ou descrever o que está representado. Nesses casos, contudo, o texto da legenda não adiciona informações ao corpo do texto verbal principal. Fotografias que cumprem essa função não são essenciais à compreensão do texto, uma vez que não apresentam uma ampliação da informação tratada no texto verbal.

Quando cumprem uma função explicativa, as fotografias estão associadas a legendas que incluem explicações ou classificações a respeito do que está representado. Isto é, a legenda não apenas nomeia o objeto ou o fenômeno, mas explica ou situa informações que o texto apresenta a respeito dos objetos e eventos representados na fotografia. Essas informações adicionais, fornecidas pela legenda, são fundamentais para que o leitor possa associar a fotografia ao assunto que é tratado no texto. Diferentemente da

função ilustrativa, onde a fotografia funciona como um exemplo do fenômeno ou objeto que está tratado no texto, na função explicativa a fotografia amplia a compreensão daquilo que é tratado no texto.

Por fim, as fotografias podem ter uma função complementar nos textos em que aparecem. Nessas ocorrências, as fotografias estão associadas a legendas que também apresentam explicações ou classificações, mas nessas legendas são incluídas informações que não aparecem no texto verbal principal. Por isso, Roth et al. (2005) classificam-nas como complementares, uma vez que as informações do texto principal e do texto da legenda se complementam, sendo, portanto, distintas, embora relacionadas ao mesmo tema.

Essas diferentes funções nos colocam algumas questões quando pensamos no entrelaçamento entre fotografias e texto verbal nos textos multimodais dos livros didáticos de Física: A integração feita pelos autores dos textos didáticos, entre o texto verbal principal e a fotografia, considera a função da fotografia e o tipo de texto a ela associado? Isto é, uma fotografia com função ilustrativa está relacionada a um tipo de texto que apresenta uma exemplificação? Que recursos os autores utilizam em maior escala quando empregam seqüências textuais explicativas: fotografias ou desenhos esquemáticos? No caso dos livros de Física existem objetos e eventos que não podem ser fotografados, como é o caso de elétrons, átomos, fótons, entre outros, bem como as interações entre os mesmos. Nossa hipótese é a de que, nessas situações, não cabe outra representação a não ser os desenhos esquemáticos.

1.2.2.2 – Desenhos icônicos e desenhos esquemáticos

Os desenhos icônicos são, ao lado das fotografias, representações que, em certo aspecto, se assemelham a seus referentes, isto é, mantêm alguma semelhança física com os objetos que representam. No entanto, os ícones, como mostrado na figura 1.3, não exibem as características de um referente particular, como a fotografia, mas de um referente genérico ou classe de referentes concretos, sendo, por isso mesmo, representações um pouco mais abstraídas de um contexto muito específico.

A opção que os autores de livros didáticos fazem pela utilização de desenhos icônicos parece-nos orientada por uma necessidade de gerar uma aproximação entre a representação e o mundo vivido do leitor, de modo semelhante ao que ocorre com as fotografias.

Outro aspecto que nos parece importante, em se tratando da opção pela utilização de desenhos icônicos, é a definição inequívoca do foco. Essa característica se aplica também aos desenhos esquemáticos. Em uma fotografia é necessário colocar em primeiro

plano as características relevantes do objeto a ser significado. Já no desenho, é possível representar apenas as características relevantes, abstraindo todo o restante do objeto e do contexto, que não têm importância naquele momento.

Encontrar fotografias que mostrem com clareza o que deseja o autor do livro nem sempre é fácil, principalmente nos casos em que a fotografia visa cumprir as funções explicativa e complementar (exatamente pela existência de muitos detalhes circunstancialmente gratuitos). Veja-se, por exemplo, a fotografia que está inserida num dos quadros da figura 1.3, apresentada na página 30. Quando nos referimos anteriormente à imagem que aparece nessa fotografia, sentimos a necessidade de descrever verbalmente os objetos que ali aparecem. Sem esse recurso o resistor dificilmente seria notado, a menos que a fotografia ocupasse uma página inteira. Isso decorre do fato de que as dimensões de um resistor real são muito menores que as dimensões de um multímetro e de uma fonte de tensão. No desenho icônico exibido ao lado daquela fotografia é possível ver todos os elementos com maior clareza, pois eles exibem tamanhos similares. Isso ocorre em diversos momentos nos livros didáticos que analisamos. Muitos elementos aparecem com as dimensões exageradas, ao passo que em outros, as dimensões são reduzidas, com o objetivo de tornar a figura mais apta a mostrar aquilo que o autor deseja que o leitor veja.

Diferentemente dos ícones, que se assemelham em alguma medida àquilo que representam, os desenhos esquemáticos são completas abstrações de toda e qualquer característica visual de seus referentes. Os desenhos esquemáticos buscam representar de uma forma bastante simplificada algum objeto ou processo, real ou imaginário. (GUO, 2004, p. 199).

Devido a esse desprendimento do mundo vivido, os desenhos esquemáticos são empregados em larga medida para representar entidades e processos pertencentes ao mundo concebido, como moléculas, átomos, elétrons, ondas eletromagnéticas, entre outros exemplos. Essa maior abstração estende as possibilidades de leitura e disponibiliza caminhos nem sempre desejados pelo autor, o que requer, novamente, que sejam utilizados mecanismos capazes de restringir ou interditar algumas dessas possíveis interpretações.

Essa característica dos desenhos esquemáticos cria a necessidade de se introduzir legendas que sempre se fazem presentes nos livros didáticos. Assim como no caso do papel que desempenham nas fotografias, a legenda cumpre o papel de restringir as possibilidades interpretativas da inscrição. Porém, diferentemente de algumas legendas que acompanham fotografias, as legendas que acompanham os desenhos esquemáticos geralmente são mais extensas e contêm descrições daquilo que está representado, remetendo o leitor aos referentes daqueles signos representados no desenho (ROTH et al., 2005). Por essa razão é também comum o uso de legendas internas.

Embora tenhamos tratado separadamente sobre alguns aspectos dos desenhos icônicos e esquemáticos, o que observamos, em grande medida, nos livros de Física analisados, foram desenhos em que há uma presença simultânea de elementos icônicos e esquemáticos. Nesses desenhos, há uma sobreposição de elementos que têm referentes tanto no mundo dos objetos e eventos (mundo vivido), quanto no mundo das teorias e conceitos (mundo concebido), compondo o que Roth et al. (2005) chamam de inscrições em camadas.

Para esses autores, o papel das inscrições é, justamente, o de mediar as relações entre os mundos vivido e concebido. Cada camada é definida em função de sua posição no continuum que separa os dois mundos, desde aquelas mais próximas ao mundo vivido, como as fotografias e desenhos icônicos, até as mais próximas do mundo concebido, como os gráficos e as expressões algébricas (ver figura 1.3, na página 30, a esse respeito). A designação inscrições em camadas refere-se a uma única representação visual que combina camadas de elementos advindas dos mundos vivido e concebido.

Um exemplo de inscrição em camadas é apresentado a seguir, na figura 1.5. Trata-se de um desenho esquemático-icônico no qual aparece o ícone de uma pilha cujos terminais foram conectados por fios a uma chave do tipo faca. Em uma das camadas dessa inscrição vemos elementos de circuitos elétricos representados por ícones que são associados ao mundo vivido. Na outra camada vemos bolinhas e setinhas. As setinhas foram inseridas sobre o circuito para sugerir que algo circula. Esses dois últimos signos têm como referentes entidades do mundo concebido (respectivamente, elétrons e corrente elétrica). Para tratar dos possíveis processos que ocorrem quando um leitor se engaja na leitura e na interpretação de uma inscrição em camadas, Roth et al. (2005) elaboraram um modelo semântico que permite analisar as diversas etapas necessárias à significação da inscrição.

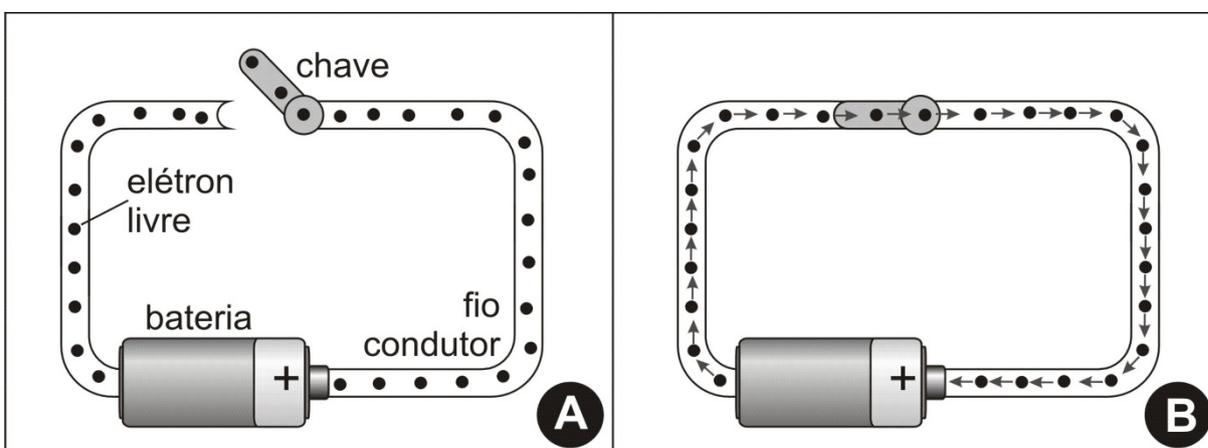


Figura 1.5 – Desenho esquemático-icônico de um circuito elétrico usado como exemplo para a aplicação do modelo de leitura de inscrições em camadas de Roth et al. (2005).

Para exemplificarmos a aplicação do modelo proposto por Roth et al. (2005) para a interpretação desse tipo de inscrição, continuaremos a usar a inscrição mostrada na figura 1.5. Nessa figura está representado um circuito elétrico em duas situações distintas: A e B. A inscrição visa representar o surgimento de uma corrente elétrica em um circuito quando a chave conecta os dois ramos do circuito.

A figura 1.6, logo a seguir, inspirada no trabalho de Roth et al. (2005), mostra uma representação gráfica para os possíveis processos de leitura e interpretação da inscrição da figura 1.5. Tal modelo de leitura se baseia na postulação de que a interpretação de uma inscrição didática ocorre a partir de três processos denominados pré-identificação⁵, transposição e translação.

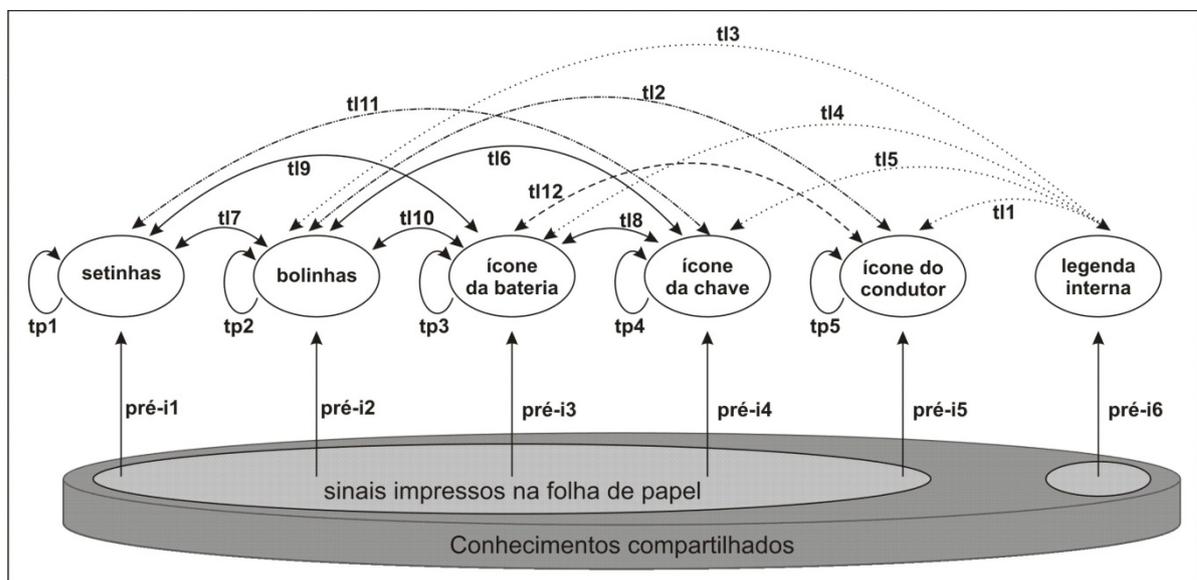


Figura 1.6 – Representação gráfica dos possíveis processos de leitura e interpretação da inscrição mostrada na figura 1.5.

Por meio dos processos de pré-identificação (identificados como pré-ix na figura 1.6) o leitor percebe os sinais impressos na folha de papel e passa a buscá-los a signos que representam objetos do mundo concebido ou do mundo vivido. Os processos de transposição (tpx na figura 1.6) dizem respeito ao estabelecimento de comparações entre signos semelhantes que aparecem na inscrição e os processos de translação (tlx na figura 1.6) envolvem o estabelecimento de relações entre os signos diferentes que se encontram na inscrição.

As elipses situadas na base da figura 1.6 representam os traços produzidos pela impressora na folha de papel, tanto os verbais, quanto os não-verbais. A leitura de qualquer inscrição parte da existência de uma base de conhecimentos socialmente compartilhados

⁵ Os autores não utilizam o termo pré-identificação e sim o termo *structuring*, cuja tradução literal nos levaria ao termo estruturação. Julgamos equivocado chamar de estruturação a uma única etapa do processo de significação dos signos que compõem uma inscrição.

sem os quais o leitor não consegue realizar, a contento, a pré-identificação dos signos que compõem a inscrição. Segundo a semiótica de Peirce, esse processo envolve a existência de uma tríade composta pelo próprio signo (bolinhas, setinhas e ícones), pelos seus referentes (elétrons, corrente elétrica, bateria, chave e fios de ligação) e pelos interpretantes (conceito de elétron como uma partícula de carga negativa que compõem o átomo, conceito de corrente como fluxo de elétrons nos espaços vazios existentes nas ligações entre os átomos, etc.). É a partir de uma base mínima de conhecimentos compartilhados, que dá origem aos referentes dos signos que compõem a inscrição, é que se torna possível a interpretação da mesma.

Para um leitor engajado na leitura e na interpretação da inscrição mostrada na figura 1.5, o processo pré-i5, mostrado na figura 1.6, marca o início da percepção das linhas que se assemelham a uma moldura, que contêm bolinhas em seu interior, como o signo fio condutor. A construção desse signo depende também do processo de pré-identificação pré-i6 e dos processos de translação t11 e t12 (veja a figura 1.6). O processo pré-i6 diz respeito à percepção dos textos verbais da legenda interna da inscrição. O processo t11 é o estabelecimento de uma relação entre o signo verbal “fio condutor” (percebido no processo pré-i6) e a representação visual desse condutor (as linhas que se parecem com uma moldura). Essa relação restringe as possibilidades de interpretação daquela representação visual: o leitor não deve enxergar aquelas linhas como uma moldura, por exemplo, e sim, como a representação de um fio condutor. O processo t12 auxilia nesse sentido, pois, a presença de elétrons livres (bolinhas) é uma característica dos materiais condutores. Todavia, a percepção das bolinhas como elétrons livres advém de outros processos de pré-identificação e translação.

Os processos pré-i2, pré-i6 e t13 possibilitam ao leitor perceber as bolinhas presentes na inscrição e associá-las ao signo elétron livre. Por meio do processo pré-i2 ele percebe as bolinhas e por meio do processo pré-i6 ele percebe a expressão “elétron livre”. A associação entre um signo e o outro é estabelecida por meio do processo t13, em que o leitor compara esses dois signos e percebe que eles estão relacionados, devido à existência de uma linha que liga a bolinha à expressão verbal. Essa associação depende do conhecimento compartilhado de que os condutores possuem elétrons livres, supostamente existentes no interior de materiais metálicos. Por isso, o processo t12 tanto auxilia na construção do signo fio condutor, quanto na construção do signo elétron livre.

Por fim, os processos pré-i1, pré-i3, pré-i4, t14 e t15 possibilitam ao leitor a percepção dos outros signos que compõem a inscrição, bem como sua associação aos referentes desses signos. O processo t17, em que o leitor relaciona bolinha e setinhas, possibilita ao leitor associar a ideia de movimento às bolinhas e, portanto, aos elétrons no condutor.

O processo de transposição tp4, em que o leitor procura estabelecer comparações entre as réplicas do signo chave nos dois lados da inscrição, possibilita a percepção da mudança de posição da chave: em A, aberta, em B, fechada. O processo tp5 possibilita a percepção de mudanças no signo fio condutor: em A não há setas no interior do condutor e em B aparecem diversas setinhas. Pelos outros processos de transposição o leitor nota que não há alterações nos demais signos daquela inscrição.

Os processos de transposição tp4 e tp5 permitem a percepção das mudanças na chave e no condutor, contudo, a compreensão dos efeitos produzidos por essas modificações demandam os processos de translação tl6 a tl12. Por meio dos processos de translação tl6, tl7 e tl11 o leitor relaciona os signos bolinha, setinha e chave. Isso permite ao leitor perceber que a modificação da chave produz o movimento dos elétrons. Por fim, os processos de translação tl8, tl9, tl10 e tl12 permitem ao leitor relacionar a bateria aos demais signos da inscrição. É por meio de todos esses processos que o leitor poderá alcançar a compreensão de que, quando a chave é fechada, um campo elétrico é estabelecido no condutor pela bateria e os elétrons passam a se mover pelo circuito.

Pensar sobre os possíveis processos de pré-identificação, transposição e translação, que um leitor engajado na leitura e na interpretação de uma inscrição precisa realizar, têm nos auxiliado bastante na elaboração de inscrições dedicadas ao ensino de Física. Nesse caso, podemos falar de uma validação do modelo proposto por Roth et al. (2005), que decorre de sua utilização para objetivos de ensino. Pensar nos possíveis processos de interpretação das inscrições nos ajuda a elaborar recursos que possam facilitar a leitura das mesmas.

Um último ponto a que faremos menção a respeito do uso dos desenhos nos livros didáticos é a necessária explicitação, por parte dos autores, do caráter representacional das formas e cores desse tipo de inscrição. Considere a figura 1.7, ao lado, retirada do livro de Usberco e Salvador (2009, p. 368), em que aparece uma fotografia de um béquer parcialmente preenchido com gelo seco e uma representação esquemática de como estariam as moléculas do gelo seco e da água que se encontram no estado de vapor no interior do béquer. Roth et al. (2005) chamam a atenção para o fato de alguns estudantes pensarem que o mundo sub-microscópico é uma versão em miniatura de bolas se movendo de um lado para o outro. Essa é uma limitação

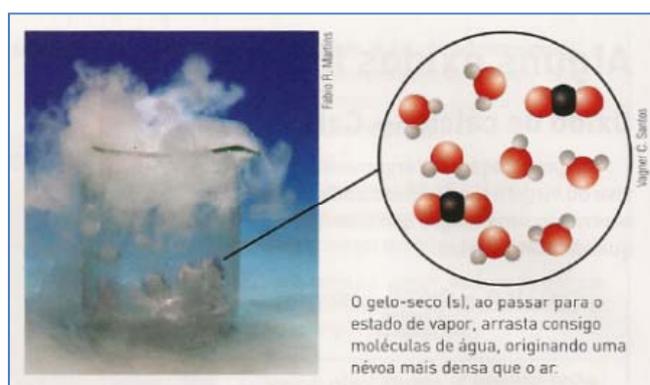


Figura 1.7 – Inscrição em camadas que mostra um recipiente contendo gelo seco e vapor d'água, bem como uma representação para as moléculas dessas substâncias.

se encontram no estado de vapor no interior do béquer. Roth et al. (2005) chamam a atenção para o fato de alguns estudantes pensarem que o mundo sub-microscópico é uma versão em miniatura de bolas se movendo de um lado para o outro. Essa é uma limitação

inerente à representação. Para compor o desenho, o autor precisa, necessariamente, se valer de fenômenos ou objetos macroscópicos (como bolas, por exemplo) para representar o que ocorre a um nível sub-microscópico, inacessível aos sentidos do leitor.

Levamos, nesta subseção, diversos aspectos das representações não-verbais icônicas e esquemáticas que merecem ser consideradas quando se pensa na utilização desse tipo de inscrição junto ao texto verbal. Assim como no caso das fotografias, existem questões relativas à integração desses diferentes modos que trazem implicações para o ensino aprendizagem. Os interpretantes dos signos, que compõem a base de conhecimentos compartilhados, são efetivamente compartilhados pelo leitor? Que recursos o autor do texto disponibiliza para permitir o acesso do leitor aos signos que compõem a representação? Trataremos dessas questões em nossa análise. Por hora, falaremos um pouco sobre outro tipo de inscrição didática: os gráficos cartesianos ou gráficos de linha.

1.2.2.3 – Gráficos cartesianos

Os gráficos são formas de representação e comunicação empregados em diversas práticas sociais, nos mais diversos gêneros, com o objetivo de sintetizar informações, permitir comparações, evidenciar tendências de variação e comprovar afirmações. Para citar alguns exemplos, podemos considerar a utilização de gráficos por policiais em uma apresentação sobre segurança pública. Também podemos considerar sua utilização por jornalistas especializados em economia. Por fim, o caso de nosso interesse, a utilização de gráficos para mostrar relações entre grandezas em livros de Física.

Segundo Monteiro (1999), os gráficos surgiram na história a partir do sistema de coordenadas elaborado por René Descartes, em 1637. O sistema cartesiano teve um papel fundamental no desenvolvimento das elaborações gráficas, pois teria se prestado a demonstrar uma infinidade de fenômenos empíricos estudados cientificamente. Os demais tipos de gráficos teriam surgido posteriormente ao sistema cartesiano. Para nos alinharmos aos demais autores de nosso referencial teórico, utilizaremos as denominações gráfico de linha e gráfico cartesiano para nos referirmos aos gráficos em que se utiliza o sistema cartesiano.

As diferentes formas visuais nas quais os gráficos se apresentam – linhas, barras ou pizza, por exemplo – se prestam a aplicações específicas, como argumentam Shah e Hoeffner (2002). Esses autores afirmam, baseados em diversos outros trabalhos, que os gráficos de linha são mais adequados para representar tendências de co-variação entre duas grandezas quaisquer x e y . Os gráficos de barra, por outro lado, são melhores para proporcionar comparações entre valores discretos. Já os gráficos de pizza são mais

apropriados para representar proporções relativas, permitindo que o leitor perceba melhor as relações parte/todo daquilo que está representado no gráfico.

Embora existam diferentes tipos de gráficos, neste trabalho vamos focar a nossa atenção no uso dos gráficos de linha pelos autores dos livros didáticos que nós analisamos. Tal opção se justifica por pelo menos dois motivos: i) o número de gráficos de pizza ou de barras encontrados nos livros analisados é desprezível quando comparado ao número de gráficos de linha; ii) nos textos que tratam do efeito fotoelétrico, selecionados por nós para a análise empírica, foram encontrados apenas gráficos de linha. Tal diferença no emprego dos diferentes tipos de gráficos não nos causa estranheza. Lemke (1998a) afirma que os gráficos de linha são bastante adequados para representar co-variações contínuas entre grandezas, devido à propriedade topológica desse recurso. Nos livros didáticos de Física esse é o principal emprego dos gráficos, que quase sempre estão associados a alguma expressão matemática. Porém, diferentemente da expressão, a disposição dos valores das variáveis dependente e independente nos eixos x e y permitem uma visualização topológica da relação.

O gráfico de linha é associado à coordenação de informações quantitativas dispostas em dois eixos perpendiculares: um horizontal e o outro vertical. No eixo horizontal, ou eixo dos x , costuma-se representar os valores associados à variável independente e no eixo vertical, ou eixo dos y , os valores relativos à variável dependente (veja a figura 1.8, ao lado). Ambos referem-se a informações dadas, isto é, ao que é conhecido de início. Já o espaço entre os dois eixos, que contém a curva do gráfico, é a informação nova, a relação entre as grandezas que foram dadas, isto é, diz respeito à forma como a variável dependente se comporta em relação à variável independente (GUO, 2004, pp. 201).

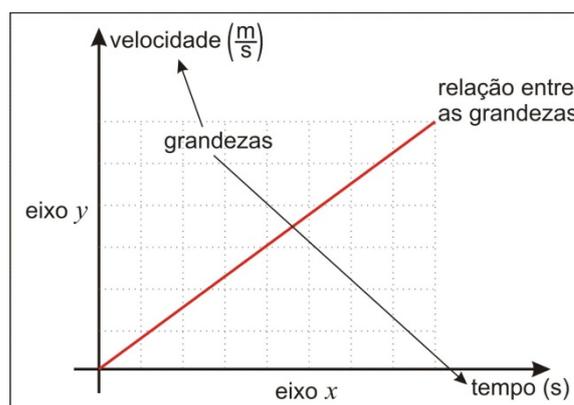


Figura 1.8 – Elementos de um gráfico cartesiano.

Os gráficos criam espaços que não têm relações com nossa vida cotidiana. Diferentemente de uma fotografia ou de um ícone, que se parecem em certa medida com o objeto representado, um gráfico exhibe uma relação entre grandezas, não havendo, na curva, semelhança alguma com os objetos envolvidos em tal representação (ROTH et al., 2005; GUO, 2004).

Beichner (1994) afirma que associar a forma da curva a uma situação real envolvendo os referentes da representação é um erro muito comum cometido por estudantes ao lidarem com gráficos de cinemática. Nos gráficos de cinemática, a variável

dependente pode ser a velocidade, a aceleração ou o deslocamento, enquanto a variável independente é o tempo. Beichner (1994) diz que, ao ser solicitado a desenhar um gráfico da velocidade em função do tempo, de uma bicicleta que sobe uma ladeira ou que desce um morro, muitos estudantes desenham incorretamente, porque produzem gráficos cuja reta está subindo ou descendo, como se o gráfico representasse o deslocamento da bicicleta na situação real.

Segundo Roth et al. (2005), esse e outros erros associados à leitura e interpretação de gráficos (veja, por exemplo, AINLEY et al., 2000; BEICHNER, 1994; ROTH et al., 2005) estariam associados a uma falta de compartilhamento das práticas sociais de ler e produzir gráficos, em vez de decorrerem de uma deficiência cognitiva. Para Roth et al. (2005) os gráficos apresentam diversos elementos que auxiliam o processo de leitura e interpretação. No entanto, tais elementos não são óbvios a qualquer leitor. É preciso que haja o engajamento em práticas de leitura e interpretação de gráficos para que os elementos fornecidos no gráfico auxiliem o leitor não familiarizado a reconstruir a relação exibida.

São muitos os elementos empregados na elaboração de um gráfico que podem auxiliar o leitor em sua interpretação. Esses elementos incluem não só os aspectos visuais, como o tipo e a cor da linha, o plano de fundo do gráfico, como também a legenda, as grandezas e as unidades. Esses elementos funcionam como recursos empregados pelo produtor do gráfico para restringir as possibilidades de leitura e interpretação do mesmo (ROTH et al., 2005). Um gráfico que apresente as grandezas **corrente** e **tensão** junto a seus eixos reduz as possibilidades de interpretação ao campo da eletricidade. Há casos em que não aparecem as grandezas representadas explicitamente, mas apenas as unidades dessas grandezas. Nesses casos, o efeito é o mesmo, embora o leitor tenha um pouco mais de trabalho, pois deverá associar o signo usado para expressar uma unidade (i ou V) às respectivas grandezas corrente e tensão.

A legenda serve para orientar ainda mais a leitura, pois torna mais clara a situação na qual foram tomados os dados para a construção do gráfico. Por exemplo, a legenda de um determinado gráfico pode afirmar que os dados referem-se a um semicondutor ou a uma lâmpada; a uma situação real em um laboratório ou a uma curva hipotética. Além disso, por vezes, a legenda cumpre a função de guiar o olhar do leitor a fim de que ele perceba certa característica exibida pela curva do gráfico.

Os três elementos que tratamos anteriormente funcionam como recursos que permitem ao leitor se mover do espaço bi-dimensional abstrato do gráfico para o espaço real no qual surgem as medidas realizadas pelos instrumentos que geraram os dados. Desse movimento surge uma ligação entre o mundo do papel e o mundo da experiência (ROTH et al., 2005, p. 29).

Seria sensato admitir, pelo que expusemos acima, a importância da presença desses elementos em gráficos de livros didáticos, afinal esses gráficos são destinados a aprendizes e não a leitores experientes. No entanto, Roth et al. (2005) identificam em alguns livros didáticos de Biologia poucos elementos destinados a restringir as possibilidades de leitura e interpretação, criando dificuldades no uso do gráfico como um instrumento de comunicação. Por outro lado, esses autores afirmam que, em publicações científicas, existem outros elementos, além dos que tratamos anteriormente, que procuram situar ainda mais a leitura e a interpretação de um gráfico, como barras de erro e pontos que representam medidas reais, superpostos à curva.

Deve-se incluir entre os elementos destinados a orientar a interpretação de um gráfico o texto principal ao qual ele está associado. Seja em uma publicação científica, um texto didático ou uma propaganda, um gráfico nunca aparece isolado, mas em interação com os demais modos que compõem esses gêneros.

O texto principal fornece a história onde o gráfico se insere. Ele fornece instruções de como um gráfico particular pode e deve ser lido, principalmente, quando o autor direciona explicitamente o olhar do leitor para aspectos particulares do gráfico. O texto proporciona uma visão de conjunto onde o gráfico faz sentido junto aos demais elementos presentes no texto.

Diferentemente da legenda, que sempre acompanha o gráfico, o texto principal pode fazer referência a ele por meio de índices dêiticos como “olhe o gráfico x” ou “como está mostrado no gráfico da página anterior”. Sendo assim, a integração entre gráfico e texto verbal nunca é gratuita, desprovida de intenção, mas é realizada por meio de uma sinalização realizada pelo produtor do texto com uma determinada intenção. “Se o gráfico não é referido no texto ele se torna acessório e o leitor não irá prestar a devida atenção a ele” (ROTH et al., 2005, p. 33).

Esses dois últimos parágrafos se relacionam de forma muito estreita com as nossas questões de pesquisa. Se os gráficos se inserem em um todo, junto aos demais modos empregados para compor um texto, que recursos os autores utilizam para realizar essa integração? Se admitimos, juntamente com Roth et al. (2005), que, em vez de deficiência cognitiva, os erros cometidos por estudantes na leitura e interpretação de gráficos se situam na falta de oportunidade para manipular esses recursos, devemos nos perguntar: que recursos os autores mobilizam para fazer com que os estudantes possam interagir com os gráficos?

1.2.2.4 – Expressões algébricas

Diferentemente dos gráficos, cujo uso social é muito mais difundido, uma expressão algébrica é um recurso semiótico de uso mais restrito. A Economia e as ciências exatas são as atividades que mais o utilizam. O papel epistemológico que esse recurso desempenha, atualmente, nas ciências exatas, tem como marco o surgimento da Física moderna (não a Física Moderna e Contemporânea, que surge a partir dos anos 1900), durante o século XVII, e, mais especificamente, o trabalho de Sir Isaac Newton, tanto em seus *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural (Principia)*, quanto em sua *Óptica*.

A esse respeito Kuhn (1977) vai nos dizer que Newton foi o primeiro a, efetivamente, coordenar as tradições clássica e baconiana. A primeira, associada principalmente à Astronomia, já exibía em seu estatuto uma fundamentação matemática e um compromisso epistemológico com o estabelecimento de relações quantitativas entre grandezas ou variáveis. Devido a razões históricas, ligadas ao desenvolvimento da própria álgebra, essas ciências clássicas estavam baseadas, principalmente, em uma álgebra geométrica. A tradição baconiana, por outro lado, esteve associada especialmente à Eletricidade e ao Magnetismo e apresentava um estatuto experimental exploratório e essencialmente qualitativo ou semi-quantitativo.

Auxiliado pelo desenvolvimento da álgebra, pelo surgimento da notação algébrica simbólica e pela criação da geometria analítica de Rene Descartes, Newton, paralelamente a Leibniz, cria o cálculo diferencial e integral que se torna, posteriormente, um recurso central na produção do conhecimento físico. A partir do trabalho de Newton, o cálculo e as expressões algébricas passam a ocupar um lugar central na Física, como modo de organizar o pensamento e a comunicação de conhecimentos produzidos sobre fenômenos atribuídos à natureza e/ou (re)criados em laboratório.

Como salienta Mariconda (2006), a tradição baconiana, que Newton reúne às ciências clássicas para fundar a ciência moderna, traz o ideal de previsão e controle da natureza, que permanece ligado às ciências naturais até hoje. Ao longo do século XIX, seguindo a tradição inaugurada pela mecânica dos *Principia*, a quantificação do estudo de fenômenos naturais ou tecnológicos, tais como a Eletricidade e o Magnetismo, dá origem à concepção de uma série de grandezas físicas que são relacionadas umas às outras através de expressões algébricas.

As relações quantitativas entre grandezas físicas, estabelecidas por meio de expressões algébricas, criam, no contexto de uma ideologia determinista, a esperança de antecipar e controlar os fenômenos em uma escala nunca antes permitida. Além disso, esse recurso revolucionário amplia a característica das ciências como realizadoras ou criadoras de novas realidades. Assim foi, por exemplo, o caso do desenvolvimento das

telecomunicações baseadas nas ondas de rádio. As ondas de rádio foram teoricamente prevista pelas equações de Maxwell, em 1864, antes de serem criadas, posteriormente, por Hertz, no laboratório.

Mesmo com o fim do determinismo, associado ao nascimento da Mecânica Quântica, no século XX, a centralidade das expressões algébricas na produção do conhecimento nas ciências naturais não diminui, ao contrário, ela aumenta. O comportamento bizarro e sem correspondência com os objetos e eventos do mundo macroscópico que é, aparentemente, exibido pelas entidades e pelos processos concebidos ao longo do desenvolvimento da Mecânica Quântica, faz com que as relações quantitativas entre grandezas, que são estabelecidas por meio de equações e expressões algébricas, passem a ocupar um papel ainda mais central na Física. As expressões algébricas passam a expressar o próprio modelo e sua manipulação torna-se quase o único recurso para nos relacionarmos com os fenômenos que essas expressões supostamente representam.

Essa função das expressões algébricas na produção das ciências naturais-exatas é ressaltada por Garbi (2007), quando ele nos diz que a essência da ciência é o estabelecimento de correlações entre fatos, conceitos e ideias, mediante os quais surgem novas associações entre entidades e processos. As equações e expressões algébricas são definidas por esse autor como “linguagem, forma ou veículo para expressar as correlações.” (GARBI, 2007, pp. 1-2). Dentro dessa perspectiva, esses recursos são usados para postular novas relações entre fenômenos. Assim, por exemplo, as equações de Maxwell contribuíram para a unificação da Ótica com o Eletromagnetismo e as equações de Lorentz, interpretadas por Einstein, contribuíram para a unificação entre Mecânica e Eletromagnetismo.

Um exemplo desse modo de conceber o papel central das equações e expressões algébricas na Física pode ser dado a partir das equações e expressões usadas na caracterização do próprio efeito fotoelétrico, cuja abordagem em textos didáticos destinados à Física escolar de nível médio constitui o objeto desta dissertação. Esse efeito constituiu um desafio para a Física Clássica, justamente porque as previsões quantitativas deduzidas das equações das teorias clássicas eram incompatíveis com medições realizadas durante a investigação do fenômeno em laboratório.

A nova interpretação concebida por Einstein está baseada em duas expressões que se unem para produzir novas previsões quantitativas em acordo com as medições. Uma dessas expressões, resgatada por Einstein do trabalho de Planck sobre a radiação do corpo negro, associa a energia de fótons de luz à frequência da radiação luminosa. Tal expressão, $E = h \cdot f$ (onde E é a energia do fóton, h é uma constante e f é a frequência da radiação) funciona como uma expressão sintética de uma aposta ontológica ousada e revolucionária. O que está sintetizado nessa expressão é a própria noção de dualidade onda-partícula. Esse exemplo mostra que as expressões algébricas e as equações são metaforicamente

como pontas de um iceberg que representam todo um conjunto de crenças ontológicas, teias conceituais e modelos que constituem as matrizes disciplinares (KUHN, 1998) a partir das quais emergem as expressões algébricas e as equações.

A outra expressão que sintetiza a teoria proposta por Einstein para explicação do efeito fotoelétrico relaciona a energia transferida aos elétrons da placa metálica, pelos fótons de luz incidente, com a energia necessária à retirada dos elétrons da placa (função trabalho) e com a energia cinética com a qual os elétrons emergem da placa. A junção dessa segunda expressão com aquela que introduz a noção de dualidade onda-partícula produz uma equação que prevê com sucesso os resultados das medidas realizadas no laboratório. Essa concordância, fortemente alicerçada no compromisso epistemológico das ciências naturais com a previsão quantitativa dos fenômenos e com o controle dos processos naturais ou produzidos artificialmente, foi um fator fundamental para a aceitação, a contragosto, daquilo que à época parecia ser um contrassenso: a hipótese da dualidade.

Toda essa discussão tem como foco aspectos epistemológicos das ciências exatas-naturais e, mais especificamente, da Física. Quando o foco da discussão se desloca para a Física escolar e para o ensino dessa ciência, o papel das expressões algébricas e das equações muda substancialmente. A pesquisa em educação matemática tem evidenciado diversas dificuldades na aprendizagem da álgebra e na superação de perspectivas mais superficiais de compreensão da álgebra como algo mais do que uma generalização da aritmética. Talvez por isso, diante da dificuldade dos estudantes alcançarem uma compreensão mais estrutural e abstrata da álgebra, o ensino da Física escolar tenha reduzido a manipulação de expressões algébricas a procedimentos mecânicos e descolados da compreensão das relações entre as grandezas físicas que, do ponto de vista do *expert*, estão inscritas nessas expressões.

1.2.2.5 – Tabelas

Tabelas são inscrições cujo processo de leitura e interpretação compartilha certos aspectos tanto com o modo da escrita quanto com o modo visual. Com o modo da escrita as tabelas compartilham o fato de serem lidas de cima para baixo (em todas elas) e da esquerda para a direita (naquelas em que há uma dupla entrada ou mais de uma coluna de informações, como a mostrada na figura 1.9, na próxima página).

Com os modos visuais, as tabelas compartilham o aspecto de não possuir um caminho de leitura totalmente linear. Isso se deve à forma como as tabelas são construídas.

As tabelas apresentam suas informações dispostas em linhas e em colunas. Cada coluna costuma possuir um título que informa ao leitor a que classe de objetos ou processos

se referem as informações apresentadas. Como as várias colunas de uma tabela costumam apresentar informações diferentes, se o leitor olhar para uma única linha não haverá a mesma correspondência de classe que se observa com as colunas. Essa disposição de linhas e colunas permite ao leitor acessar cada célula de forma independente.

Tabela 3 Cargas elétricas de *quarks* e *antiquarks*

<i>Quark</i>	Símbolo	Carga	<i>Antiquark</i>	Símbolo	Carga
<i>up</i>	u	$+\frac{2}{3}e$	<i>antiup</i>	\bar{u}	$-\frac{2}{3}e$
<i>down</i>	d	$-\frac{1}{3}e$	<i>antidown</i>	\bar{d}	$+\frac{1}{3}e$
<i>strange</i>	s	$-\frac{1}{3}e$	<i>antistrange</i>	\bar{s}	$+\frac{1}{3}e$
<i>charmed</i>	c	$+\frac{2}{3}e$	<i>anticharmed</i>	\bar{c}	$-\frac{2}{3}e$
<i>bottom</i>	b	$-\frac{1}{3}e$	<i>antibottom</i>	\bar{b}	$+\frac{1}{3}e$
<i>top</i>	t	$+\frac{2}{3}e$	<i>antitop</i>	\bar{t}	$-\frac{2}{3}e$

Figura 1.9 – Exemplo de tabela com colunas que apresentam informações diferentes. Retirada do livro Física, de Sampaio e Calçada (2005).

A opção pela utilização de uma tabela, em um texto, está relacionada a uma intenção em apresentar publicamente um conjunto de informações ou de dados de modo organizado. Além disso, devido à disposição das informações em linhas e colunas, as tabelas permitem que se possa comparar, com facilidade, os diferentes dados apresentados. Na tabela acima, por exemplo, se desejássemos obter a informação de quais quarks possuem o maior valor para a carga, bastaria olharmos para a coluna cujo título exhibe essa informação. Varrendo as várias linhas da coluna poderíamos obter essa informação com facilidade.

Por fim, as tabelas são utilizadas para a apresentação de diferentes tipos de informações e podem conter em suas linhas e colunas diferentes modos de comunicação e pensamento. Em alguns livros de Física é comum a presença de tabelas que congregam um conjunto de expressões algébricas, já em livros de química podemos encontrar com facilidade tabelas com desenhos esquemáticos de moléculas. Nesses últimos casos a função da tabela é apresentar uma síntese de todo um conjunto de informações tratadas anteriormente.

1.3 – A função retórica dos textos didáticos

Esta seção será dedicada à apresentação de argumentos que nos permitem dizer que os textos dos livros didáticos visam cumprir uma função retórica, isto é, têm os modos de comunicação e pensamento e os tipos de textos escolhidos e integrados intencionalmente por seus autores, de maneira a atingir determinados objetivos específicos destinados a aculturar os educandos nas formas específicas de conceber e interpretar os fenômenos físicos.

A ciência possui uma forma bastante particular de ver e explicar os fenômenos naturais que ocorrem no universo. Para tanto, os cientistas empregam técnicas e instrumentos específicos e utilizam uma linguagem e um discurso apropriados à atividade que desenvolvem. Essa maneira de ver e explicar o mundo difere bastante da forma como as demais pessoas o fazem. Isso faz com que aprender ciências esteja, em grande parte, relacionado a compreender o fazer das ciências.

Para ajudar os estudantes a se apropriarem dessa maneira particular de ver o mundo, os professores de ciências utilizam estratégias retóricas. Essas estratégias dizem respeito à forma como mobilizam recursos de mediação e elaboram seus discursos e são marcadas tanto pelo modo como concebem seus alunos, quanto pelos objetivos que visam alcançar em um dado momento da comunicação (KRESS et al., 2001).

Para Kress et al. (2001), a utilização do termo retórica, nesse sentido, é bastante frutífera, porém traz também alguns problemas. Ela traz problemas, pois, o termo pode ser associado a uma visão clássica da retórica, muito ligada à arte ou técnica de falar bem. Nessa concepção, o retórico é visto como o orador, o mestre da eloquência que, utilizando de técnicas discursivas apropriadas, pode alcançar o seu objetivo: convencer ou persuadir um auditório. O problema é que essa persuasão não estaria, necessariamente, ligada à “defesa da verdade”. Assim, o retórico se torna o indivíduo que visa ludibriar o outro por meio do uso adequado do discurso (JOLY, 1996, p. 77).

No entanto, o emprego do termo retórica, argumentam Kress et al. (2001), se torna bastante apropriado quando aplicado ao ensino de ciências, pois enfatiza o papel ativo do professor e do aluno no processo de construção do conhecimento e sinaliza a existência de um processo de aculturação necessariamente ligado à educação em ciências. Em uma perspectiva anti-retórica do ensino de ciências, a natureza fala por si, através dos fenômenos naturais. O papel do professor, nessa visão, é de um simples auxiliar, que ajuda o estudante a observar os fenômenos da forma “correta”. De modo oposto, assumir que o professor age retoricamente quando ensina ciências em uma sala de aula, implica em ver o professor como o indivíduo que seleciona tipos de textos, inscrições, experimentos,

prosódias e orchestra todos esses modos de comunicação a fim de produzir um determinado efeito sobre as visões de mundo dos estudantes.

Desde uma perspectiva semiótico-social, os signos não são arbitrários e nem autônomos. Ao contrário, eles são motivados e selecionados entre toda uma rede de possibilidades com propósitos bastante específicos. O produtor de um texto tem à sua disposição um amplo espectro de recursos que possuem significados potenciais para determinados propósitos. Esse produtor seleciona os modos de acordo com o que ele julga mais apropriado, isto é, de acordo com o que ele julga ser o recurso mais adequado para comunicar um determinado sentido. Uma vez que cada modo possui especializações funcionais, ele selecionará aqueles modos que ele julgar como mais apropriados para cumprir uma determinada função.

Essa escolha dos modos de comunicação e de sua forma de organização é feita pelo professor ou pelo autor de materiais didáticos com base em sua concepção sobre a audiência a que se destina seu discurso: os estudantes. Assim, não é só o professor ou enunciador que tem um papel ativo na definição dos modos de comunicação e no seu uso, mas também os próprios estudantes ou enunciatários. Obviamente, o papel ativo dos estudantes vai além da fase em que o professor seleciona os modos. A atividade desses sujeitos compreende também as alterações que o professor faz em seu discurso no momento em que ocorrem as interações com os estudantes e também as transformações que os estudantes introduzem na significação dos signos e modos de comunicação e pensamento utilizados pelo professor (KRESS et al., 2001, pp. 28-29).

A orquestração retórica dos modos de comunicação é realizada não só pela concepção que o professor tem de seus estudantes, mas também pela especialização funcional do modo e pelo efeito ilocutório que o professor deseja produzir nos estudantes.

Ao apresentarem uma análise de uma aula de ciências como um evento de comunicação multimodal, Kress et al. (2001) explicitam como a limitação de determinados aspectos de um modo de comunicação faz com que o professor passe a utilizar um outro modo. Por exemplo, ao falar da circulação sanguínea, o professor utiliza um torso para apresentar aos estudantes a localização do coração e dos pulmões, mas depois ele abandona o torso e passa a utilizar os gestos para mostrar o movimento, pois o torso não permite comunicar esse tipo de informação.

Além disso, o professor realiza os movimentos de *foregrounding* e *backgrounding* (KRESS et al., 2001), cujo objetivo é explicitar ou obscurecer alguns detalhes das representações que utiliza. A intenção do professor com esses movimentos é fazer com que os estudantes percebam as características da representação que o professor julga como importantes naquele momento e não deem atenção às outras, que não estão no foco de atenção. Esses movimentos são resultantes de uma decisão que o professor toma com a

intenção de produzir um efeito de sentido sobre os estudantes. Por exemplo, ao fazer um desenho no quadro, o professor, cuja aula é analisada pelos autores citados, abstrai as formas físicas dos órgãos do corpo e representa-os como simples tubos. O coração é representado por um símbolo empregado na representação de bombas em circuitos hidráulicos. Naquele momento, não importavam as formas dos órgãos e sim a circulação do sangue produzida pelo coração no corpo de um organismo humano. Ao fazer essa escolha, o professor assume que as formas, pelo menos naquele momento, não são importantes e sim a função que os órgãos exercem na circulação sanguínea.

Podemos transpor as considerações de Kress et al. (2001), elaboradas a partir de uma análise de algumas aulas de ciências, para os livros didáticos de Física que estamos utilizando em nossa pesquisa.

Partindo da filosofia da linguagem de Bakhtin (1997) podemos afirmar que é um equívoco considerar a linguagem apenas do ponto de vista do enunciador. O equívoco consiste no fato de que essa perspectiva concebe o enunciatário como um destinatário passivo, que se limita a compreender o locutor. Em todo ato comunicativo, enunciador e enunciatário possuem papéis ativos, mesmo que, em determinadas situações, um deles não esteja física ou materialmente presente, como no caso da escrita ou da leitura de um livro, por exemplo. O enunciador age em função de uma compreensão responsiva ativa do enunciatário, ou seja, espera que o enunciatário lhe forneça uma resposta: uma concordância, uma adesão, uma objeção, uma execução (BAKHTIN, 1997, p. 292) e é com base nessa suposta resposta que ele realiza suas escolhas retóricas.

Com base no que afirmamos anteriormente, assumimos que o autor do texto age retoricamente ao selecionar e integrar um determinado conjunto de modos de comunicação de uma maneira particular, com o objetivo de alcançar determinados objetivos a partir de uma concepção dos possíveis enunciatários do seu texto.

Como o texto verbal é de suma importância nos livros didáticos, cabem algumas considerações a respeito das funções retóricas dos diferentes tipos de textos. Assim como os diferentes modos não-verbais, que incluem fotografias, desenhos, gráficos, tabelas e expressões algébricas, os tipos de texto ou tipos de sequências são selecionados e organizados em formas particulares para se atingir determinados fins.

Para Bronckart (2003), o produtor de um texto tem à sua disposição um conjunto de sequências textuais disponíveis no intertexto. A capacidade de acessar esse repertório no intertexto não deve ser tomada como uma competência biologicamente fundada, mas como resultante da experiência do indivíduo nas situações sociais nas quais já utilizou ou observou a utilização dessas sequências. A forma assumida por uma reorganização e utilização particular das sequências é definida em função do contexto da situação comunicativa e é claramente motivada pelas representações que o locutor tem dos

destinatários de seu texto, assim como do efeito que neles deseja produzir (BRONCKART, 2003, p. 234).

Nas subseções que se seguem retomaremos os tipos de textos apresentados na subseção 1.2.1. Apresentaremos suas definições e as funções retóricas que supostamente desempenham na comunicação.

1.3.1 – Argumentação

Dentre os muitos pontos de vista apresentados por Charaudeau e Maingueneau (2004) sob os quais pode ser vista a argumentação, interessa-nos a argumentação como algo que emerge de uma dúvida lançada sobre um ponto de vista que será o objeto da atividade argumentativa. Tal dúvida pode ter origem na existência de outro ponto de vista concorrente ou na atribuição de valor epistêmico ao objeto da argumentação. Nos dois casos podemos dizer que a argumentação surge de uma tensão, cuja solução emerge da construção de um argumento logicamente estruturado.

Quando o enunciador considera que algum elemento do tema sobre o qual discorre é contestável (a seu ver e/ou do enunciatário), tende a discorrer sobre esse elemento por meio de uma sequência textual argumentativa (BRONCKART, 2003, pp. 234-235). O enunciador, ao empregar um texto argumentativo, concebe o enunciatário em um nível semelhante ao seu, levando-o à condição de sujeito com direito a contestar algum elemento de seu próprio discurso.

Bronckart (2003, p. 226) considera que

... o *raciocínio argumentativo* implica, em primeiro lugar, a existência de uma tese, supostamente admitida, a respeito de um dado tema (*os seres humanos são inteligentes*). Sobre o pano de fundo dessa **tese anterior**, são então propostos **dados novos** (*os seres humanos fazem guerra*), que são objeto de um **processo de inferência** (*as guerras são uma idiotice*), que orienta para uma **conclusão** ou uma nova tese (*os seres humanos não são tão inteligentes*). No quadro do processo de inferência, esse movimento argumentativo pode ser apoiado por algumas justificações ou **suportes** (*as guerras trazem morte e desolação*), mas podem também ser moderado ou freado por **restrições** (*algumas guerras contribuíram para o estabelecimento das liberdades individuais*). É do peso respectivo dos suportes e das restrições que depende a força da conclusão.

Portanto, por meio de um texto argumentativo busca-se convencer ou persuadir o outro acerca de uma determinada tese por meio de enunciados plausíveis que fortalecem a tese defendida. A confrontação de pontos de vista sobre a melhor interpretação de um dado objeto ou sobre o valor epistêmico da interpretação que é o objeto da argumentação é o núcleo dos textos argumentativos.

Portanto, a função retórica que associamos aos textos argumentativos é a de convencer ou persuadir o outro acerca de uma determinada tese. Em função da concepção que o enunciador elabora a respeito do tema sobre o qual discorre e sobre o enunciatário, ele desenvolve o seu discurso pela apresentação de argumentos que reforçam a tese defendida e enfraquecem as teses concorrentes, de modo a persuadir o enunciatário a aceitar a tese defendida como a mais adequada.

1.3.2 – Explicação

Um texto explicativo é utilizado quando o enunciador sente a necessidade de tornar algo mais claro, compreensível ou inteligível. Este algo pode ser um fenômeno, um processo, uma relação ou um conceito, que se apresentam como incompletos, “ou como requerendo um desenvolvimento destinado a responder às questões que coloca ou as contradições aparentes que poderia suscitar” (BRONCKART, 2003, p. 228). A explicação é o discurso que visa satisfazer uma necessidade cognitiva, apaziguando uma dúvida, uma ignorância ou algo não compreendido, por meio do estabelecimento da relação entre o fenômeno a explicar e o fenômeno explicante (NORRIS et al., 2005; BRONCKART, 2003; CHARAUDEAU e MAINGUENEAU, 2004). Mortimer e Scott (2003, p. 31) dizem que uma explicação estabelece relações entre fenômenos físicos e conceitos, usando alguma forma de modelo ou mecanismo para dar conta de um fenômeno específico.

Diferentemente da argumentação, em que ambos os indivíduos envolvidos na comunicação se encontram em uma situação mais igualitária – pois, aquele com quem se argumenta pode questionar os argumentos – na explicação há um agente autorizado e legítimo que fornece a explicação, o que pressupõe uma posição de confiança ou hierarquia entre o sujeito que explica e o sujeito que recebe a explicação (BRONCKART, 2003). Essa relação de confiança ou hierarquia blinda a explicação de possíveis controvérsias ou contestações.

Para Bronckart (2003, p. 229) uma sequência explicativa prototípica contém quatro fases distintas: i) fase de constatação inicial em que se introduz um fenômeno não contestável; ii) fase de problematização, em que são levantadas as questões que demandam esclarecimentos; iii) fase de resolução, em que são oferecidas as causas e/ou razões para a constatação inicial; iv) fase de conclusão, em que a constatação inicial se apresenta reformulada e enriquecida.

Por fim, trazemos aqui também, uma distinção apresentada por Mortimer e Scott (2003) com respeito à explicação, mas que também se estende à generalização e à descrição, que serão tratadas mais adiante. Para esses autores, a explicação pode ser

empírica ou teórica. A explicação é empírica quando baseada em propriedades ou elementos diretamente observáveis. É classificada como teórica a explicação que se vale de elementos ou processos criados a partir do discurso teórico das ciências.

A função retórica que associamos aos textos explicativos é a de compartilhar com o outro uma forma de compreensão ou interpretação de um fenômeno. O enunciador, ao se assumir como estando de posse do conhecimento causal acerca de um determinado fenômeno, concebe o enunciatário como alguém que não possui esse conhecimento e, então, busca compartilhar com o enunciatário, seu modo de compreender o fenômeno.

1.3.3 – Descrição

Enquanto o texto explicativo tem por objetivo compartilhar uma forma de compreensão, o texto descritivo visa compartilhar a percepção ou guiar o olhar do enunciatário. Essa é a função retórica dos textos descritivos. O enunciador concebe o enunciatário como um indivíduo que desconhece os detalhes ou pontos importantes de um fenômeno, situação, processo ou objeto, que necessitam ser considerados em uma dada situação comunicativa. Outra motivação do enunciador ao descrever é a intenção de chamar a atenção do enunciatário em relação aos detalhes ou pontos importantes daquela mesma gama de elementos, mesmo que o enunciador considere que tais aspectos sejam do conhecimento do enunciatário. Sendo assim, o enunciador utiliza um texto descritivo para direcionar o olhar do enunciatário àqueles aspectos, de modo que o enunciatário possa ver um fenômeno, processo ou objeto de forma **semelhante** à dele.

Descrever é apresentar, colocando em evidência, as características de um sistema, de um objeto, de um processo ou de um fenômeno que necessitam ser consideradas. Mortimer e Scott (2003, p. 30) propõem que uma descrição “envolve enunciados que dizem respeito a um sistema, um objeto ou um fenômeno em termos de seus constituintes ou dos deslocamentos espaço-temporais desses constituintes”.

Para cumprir essa tarefa, Bronckart (2003) propõe que os textos descritivos devem ser compostos de fases que se combinem em uma ordem hierárquica ou vertical. Trata-se de uma ordem de organização sequencial que obedece a uma lógica hierarquizante e não uma ordem linear obrigatória dos acontecimentos.

As descrições, assim como as explicações, também podem ser empíricas ou teóricas. Uma descrição empírica é uma consideração de um fenômeno em termos de suas características observáveis. Já uma descrição teórica vai além das características observáveis e se baseia nas entidades teóricas criadas pelos modelos e teorias da ciência para explicar um fenômeno (MORTIMER e SCOTT, 2003).

1.3.4 – Injunção

Os textos injuntivos, também denominados instrucionais ou procedimentais, se assemelham muito aos textos descritivos, porém, nesse caso, o texto não trata das propriedades dos objetos que são tema da descrição e sim das ações desses objetos ou de ações a serem realizadas sobre os objetos. Isso leva Bronckart (2003) a argumentar que uma sequência injuntiva possui estatuto próprio e não deve ser considerada como uma descrição de ações. Podemos afirmar que as sequências injuntivas estão mais relacionadas à necessidade de fazer agir, isto é, de coordenar ações. Werlich (1973, *apud* MARCUSHI, 2003, p. 28) aponta certas características linguísticas que definem os textos injuntivos: vêm representados por um verbo no imperativo e são enunciados que incitam à ação.

Portanto, associamos aos textos injuntivos a função retórica de fazer o enunciatário agir do modo indicado pelo enunciador. Esse texto é empregado, por exemplo, na proposição de um procedimento experimental. O enunciador é o sujeito que, supostamente, sabe como agir para obter um determinado resultado.

1.3.5 – Definição

Segundo Charaudeau e Maingueneau (2004, pp. 145-146) uma definição está associada à ideia de fechamento, de delimitação. Assim como no caso da explicação, uma definição encerra a ideia de que quem a produziu é um agente autorizado e legítimo, investido de uma autoridade social ou científica reconhecida por seus interlocutores.

A utilização de uma definição, nas ciências, está associada a uma forma de compartilhar com o outro um modo de fazer referência a processos ou a objetos, incluindo as complexas relações que esses possam estabelecer com outros processos/objetos. Assumimos que essa é a função retórica desempenhada pelas definições. Nos textos didáticos de ciências, o enunciador concebe o enunciatário como um sujeito em processo de aculturação e compartilha com ele a terminologia utilizada pela ciência na identificação de processos ou objetos. Em outras palavras, a função retórica da definição é o compartilhamento de um léxico ou vocabulário.

Nas definições que identificamos em nossa análise, o sentido de um nome ou de uma expressão emerge da formação de um grupo nominal. As definições são úteis, pois, congregam um grande número de conceitos e ideias em um único nome ou grupo nominal. Sempre que se utiliza esse nome, todo um conjunto de significados se faz presente. Essa condensação de significados, por outro lado, complica a construção de sentidos, exatamente por aumentar a densidade léxica do termo utilizado como síntese da definição.

Por serem carregadas de termos técnicos, as definições são de difícil compreensão. Há casos em que as definições se utilizam da linguagem cotidiana a fim de estabelecer o termo técnico. Contudo, em se tratando das ciências, é grande o número de definições que se baseiam apenas em termos técnicos.

1.3.6 – Narração

Para Bronckart (2003) uma sequência narrativa se configura como um texto em que os personagens se encontram implicados em acontecimentos organizados de modo sucessivo. Tal organização dos acontecimentos é sustentada por um processo de intriga.

Por meio do processo de criação da intriga, o locutor seleciona e organiza os acontecimentos, de modo a formar uma história completa, com início meio e fim: a partir de um estado de equilíbrio inicial, cria-se uma tensão, que irá desencadear um processo de transformação, cujo fim último é o restabelecimento de um novo equilíbrio pela resolução da tensão.

De acordo com Bronckart (2003, p. 234) a tensão cria um suspense que contribui para a manutenção da atenção do destinatário. Nesse movimento, a sequência narrativa sobrepõe uma dimensão causal ou interpretativa à cronologia dos acontecimentos: esses acontecimentos se encontram, pois, em um todo coerente, reconfigurados ou ainda clarificados.

Assim como no caso da explicação, a narração é motivada por um desejo ou necessidade de compartilhar uma forma de compreensão. Nos dois casos, admitimos que: compreender é estabelecer relações e extrair implicações. Na explicação, tanto o estabelecimento de relações, quanto a extração de implicações são feitas exclusivamente pelo aspecto lógico da trama de características dos objetos/entidades envolvidos e de relações/interações entre os mesmos.

A narração, por outro lado, permite o estabelecimento de relações e a extração de implicações mesmo nas situações em que não se compreende a lógica da trama de características e de relações/interações entre personagens e contextos da história. A esse respeito, é importante ressaltar que nós somos seres históricos. Nesse sentido, muitos dos temas que demandam nossa compreensão e o compartilhamento da mesma com nossos interlocutores estão, simplesmente, além da lógica e, portanto, além da explicação. Esses temas têm, portanto, uma história e não uma lógica intrínseca. Outro aspecto importante que remete à opção pela explicação ou pela narração, diz respeito à forma como o enunciador concebe o enunciatário. Se o primeiro concebe o segundo como alguém que não

compreenderá a estrutura teórico-conceitual subjacente à explicação que ele tem em mente, ele poderá recorrer a uma narração, mesmo que o tema admita uma explicação.

1.3.7 – Exemplificação

De acordo com Mortimer et al. (2007), as ações de linguagem por meio das quais o conhecimento científico é apresentado e discutido em sala de aula envolvem a produção de enunciados que, ora tomam como base referentes concretos, tais como a água líquida, o gelo e o vapor de água de nosso dia a dia, ora tratam de referentes abstratos como é o caso, por exemplo, do conceito de fases da matéria (sólida, líquida ou gasosa). Os referentes concretos estão associados ao mundo dos objetos e eventos, o mundo vivido, da experiência sensível. Já os referentes abstratos seguem associados ao mundo das teorias e conceitos, e constituem o mundo concebido.

Como mostra o esquema apresentado na figura 1.10 ao lado, entre os referentes concretos e os referentes abstratos existem as classes de referentes. Do ponto de vista dos níveis de referencialidade, a passagem de referentes concretos a referentes abstratos (e vice-versa) geralmente implica na produção de enunciados que envolvem classes de referentes.

Uma classe de referentes concretos é, por exemplo, o conceito de gás, desde que o signo gás esteja relacionado a diferentes referentes concretos tais como o ar atmosférico, o gás usado para encher

balões ou o gás usado na cozinha de nossas casas. Uma classe de referentes abstratos é, por exemplo, o conceito de partícula, que trata de forma genérica os elementos microscópicos (átomos e moléculas) que constituem os gases.

Quando nosso discurso se desenvolve no nível de referencialidade de uma classe de referentes concretos ou abstratos, operamos em um patamar mais abstrato do que quando discorreremos sobre um referente concreto ou um referente abstrato específico. Por isso, quando recorreremos a uma exemplificação, estamos reduzindo o nível de abstração sobre o qual operaríamos se nos mantivéssemos restritos às classes de referentes.

É importante salientar que os discursos das ciências operam preferencialmente sobre classes de referentes. Trata-se, portanto, de um discurso que trabalha em prol da descontextualização e é por essa razão que na figura 1.3 (cf. página 30), elaborada sob a

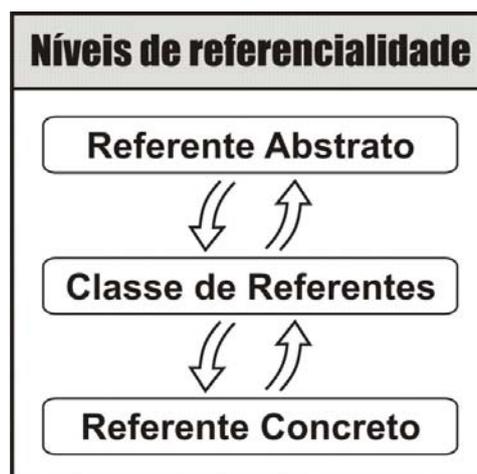


Figura 1.10 – Níveis de referencialidade dos enunciados.

inspiração do trabalho de Roth et al. (2005), nós representamos o espaço que separa os mundos vivido e concebido como um continuum que vai do mais específico, contextual e circunstancial ao mais geral, abstrato e descontextualizado.

Denominamos exemplificação ao movimento que busca eleger um referente específico como representante de uma classe de referentes. O referente específico compartilha com a classe de referentes e, portanto, com outros referentes específicos, um conjunto de propriedades e relações.

Uma circunstância que justifica a escolha pelo uso de uma exemplificação é a percepção construída pelo enunciador de que o enunciatário pode ter dificuldade em conceber uma classe de referentes ou racionar em um patamar mais abstrato. Nesse caso, o uso de uma sequência textual exemplificativa vem associado ao uso de sequências textuais descritivas, explicativas ou argumentativas. O enunciador elege um referente específico que, prévia ou posteriormente, é relacionado a uma classe de referentes no contexto de uma descrição, explicação ou argumentação. Ainda nesse caso, consideramos que a função retórica de uma exemplificação é estabelecer um vínculo entre uma classe de referentes e um referente específico.

A exemplificação também pode vir acompanhada de uma sequência textual injuntiva ou, pelo menos, da intenção retórica associada a esse tipo de sequência. Nesse caso, ao invés de simplesmente prescrever ou descrever um conjunto estruturado de ações, por meio de uma sequência injuntiva, aquele que recorre à exemplificação age e deixa-se observar durante a ação. Desse modo, um conjunto de estratégias de uso de instrumentos e procedimentos pode ser apresentado ao enunciatário. Esse segundo tipo de exemplificação ocorre em textos didáticos de Física, principalmente, pela apresentação de exemplos de exercícios resolvidos. Assim como no primeiro caso, a função retórica desse segundo tipo de exemplificação reside no estabelecimento de uma relação geral-específico. Todavia, o que é geral agora é a validade de um conjunto de estratégias e instrumentos que podem ser utilizados em muitas outras situações específicas, além daquela apresentada no exemplo. Por isso, ao resolver um exercício, o autor de um texto didático está dizendo ao estudante que as estratégias de resolução ali empregadas poderão e deverão ser usadas em outros exercícios propostos.

1.4 – Coerência e coesão em textos multimodais

Costa Val (2006) define a textualidade como o conjunto de características que permitem que um grupo de frases possa ser compreendido como um texto, visto como uma unidade plena de sentido, em vez de um amontoado de enunciados sem nexos. A

textualidade, assim definida, compõe a metafunção textual da linguagem (HALLIDAY, 1976, 1985; LEMKE, 1998a; KRESS et al., 2001).

Para avaliar a textualidade das redações de estudantes produzidas no exame vestibular de 1981, na UFMG, Costa Val (2006, p. 5) se baseia em sete fatores que, segundo ela, seriam responsáveis pela textualidade de um discurso qualquer: a coesão e a coerência, que se relacionam com o material conceitual e linguístico do texto, e a intencionalidade, a aceitabilidade, a situacionalidade, a informatividade e a intertextualidade, que têm a ver com os fatores pragmáticos envolvidos no processo sociocomunicativo. Embora não deixemos de considerar que todos esses sete fatores têm implicações para a análise dos textos do livro didático, assumimos que os fatores coerência e coesão têm uma maior influência sobre a textualidade quando consideramos o fenômeno da orquestração multimodal.

A coerência é o fator responsável pelo sentido que emerge do texto, bem como pela sua unidade ou integridade. A coerência remete, portanto, à metáfora do texto como tecido, como estrutura, como ordem que se opõe ao caos. Um texto coerente é um conjunto harmônico de enunciados, em que todos eles se encaixam de maneira complementar, permitindo ao enunciatário reconhecer o texto como um todo significativo. Segue-se disso que em um texto coerente não deve haver nada destoante, nada ilógico, nada contraditório, nada desconexo (COSTA VAL, 2006; FIORIN e SAVIOLI, 1999).

Além disso, Costa Val (2006, pp. 5-6) afirma que um “discurso é aceito como coerente quando apresenta uma configuração conceitual compatível com o conhecimento de mundo do receptor”. Isso tem estreita relação ao que já afirmamos acerca dos modos de comunicação. Aquilo que pode ser considerado como completamente significativo para uma comunidade, pode não o ser para outra, de maneira que deve haver algum conhecimento compartilhado entre os interlocutores para que se façam entender por meio de um texto. Em outras palavras, o texto não possui significado em si mesmo: seu sentido é construído tanto pelo enunciador quanto pelo enunciatário, em um determinado contexto de comunicação. A forma adequada de se ler e interpretar um determinado texto pressupõe o envolvimento em certas práticas culturais compartilhadas pelos interlocutores.

Enquanto a coerência tem relação com certa uniformidade das ideias apresentadas no texto, a coesão diz respeito à unidade do texto que pode ser atribuída a seus aspectos estritamente linguísticos. Pode-se dizer que a “coesão é a manifestação linguística da coerência”, sendo realizada por meio de mecanismos gramaticais e lexicais (COSTA VAL, 2006, p. 6), tais como as preposições, as conjunções, os pronomes, os advérbios, entre outros (FIORIN e SAVIOLI, 1999).

Um texto é considerado coeso quando há um uso adequado de recursos linguísticos para marcar a concatenação entre os vários enunciados que o constituem, permitindo que o

texto se apresente como um conjunto de fatos ordenados e organicamente articulados entre si. A utilização dos elementos de coesão apropriados é de fundamental importância para a compreensão do texto, pois eles contribuem para a expressão clara das ideias. Cada elemento de coesão manifesta um tipo de relação entre os enunciados: causa, finalidade, conclusão, contradição, condição, entre outras. A direção que se deseja dar ao texto, isto é, as diferentes relações entre os enunciados, é alcançada pelo uso desses elementos de coesão (FIORIN e SAVIOLI, 1999).

Embora os dois trabalhos que estamos utilizando como base para tratarmos da coerência e da coesão textual sejam direcionados a textos verbais, acreditamos que seja possível uma ampliação dessas conceituações para envolver também os textos multimodais e a tessitura dos modos de comunicação não-verbais que compõem esse tipo de texto. Assim, os critérios de coerência e coesão não estariam restritos apenas ao texto verbal que compõe as páginas do livro didático, mas podem ser ampliados para serem aplicados à integração entre texto verbal e inscrições didáticas.

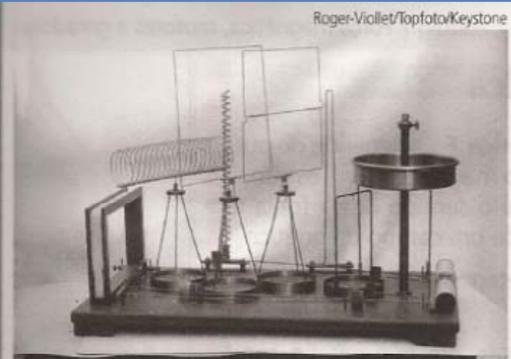
A coerência em textos multimodais segue associada a um uso dos modos que leva em consideração suas especializações funcionais, bem como as intenções retóricas que dão origem à orquestração multimodal entre o modo verbal e os modos não-verbais. A título de exemplo, considere o segmento de texto retirado do livro de Pietrocola et al. (2010, pp. 211-212), mostrado na figura 1.11 a seguir.

A balança de Ampère

Em 1820, Ampère realizou um experimento no qual se podia estimar a ação (força) mútua aplicada entre dois fios percorridos por correntes. Ele concebeu um aparato para medir correntes, composto de dois fios horizontais, que ficou conhecido como balança de Ampère. Enquanto um era mais longo e fixo, o outro era preso a um suporte que podia girar em torno de um eixo vertical. Assim, quando uma corrente passava pelos dois fios, uma força se estabelecia entre eles e fazia o menor movimentar o eixo. O peso em um dos pratos poderia ser equilibrado ajustando a força magnética entre os fios condutores.

211





Roger-Viollet/Topfoto/Keystone

Balança de Ampère.

Como o peso no prato era conhecido, quando obtido o equilíbrio, a corrente elétrica que percorria os fios podia ser calculada.

Basicamente, essa balança permitia medir a força estabelecida quando se produzia corrente elétrica nos dois fios. Ao medir a força, calculava-se a corrente elétrica. Essa aplicação foi uma das primeiras formas de quantificar a corrente elétrica. Para isso, Ampère considerou várias condições entre os fios, mas duas delas são particularmente importantes:

1) as correntes se propagam no mesmo sentido;

Figura 1.11 – Exemplo de incoerência textual multimodal: texto descritivo associado a uma fotografia panorâmica.

O texto verbal apresenta uma descrição das características e do funcionamento da balança de Ampère. A esse texto descritivo podemos associar a função retórica de guiar o olhar do leitor, de modo que ele perceba os elementos importantes da montagem experimental utilizada por Ampère na obtenção do fenômeno que o texto descreve. A fotografia à qual o texto está associado, todavia, mostra um conjunto de elementos que não parecem estar associados à descrição apresentada no texto verbal. Isso configura o que estamos denominando de quebra da coerência multimodal. A um texto descritivo como o que se encontra nas páginas mostradas na figura acima, deveria ter sido associada uma fotografia com um foco bem definido sobre os itens descritos, ou então, um desenho esquemático-icônico mostrando esses itens em detalhe. Uma fotografia panorâmica como a mostrada na figura 1.11, que exhibe todo um conjunto de elementos usados na execução do experimento, não permite a explicitação dos detalhes importantes, como demanda o texto descritivo.

A coesão textual multimodal está associada à sinalização da orquestração dos modos de comunicação usados na elaboração do texto. A percepção de um texto multimodal que contém uma fotografia, um desenho e um segmento de texto verbal como um único texto e não como um conjunto de elementos distintos é resultado da coerência multimodal que se torna facilitada pela presença da coesão multimodal. A figura 1.12 a seguir apresenta um exemplo de um trecho de um texto multimodal coerente e coeso, retirado do livro *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2005, p.221).

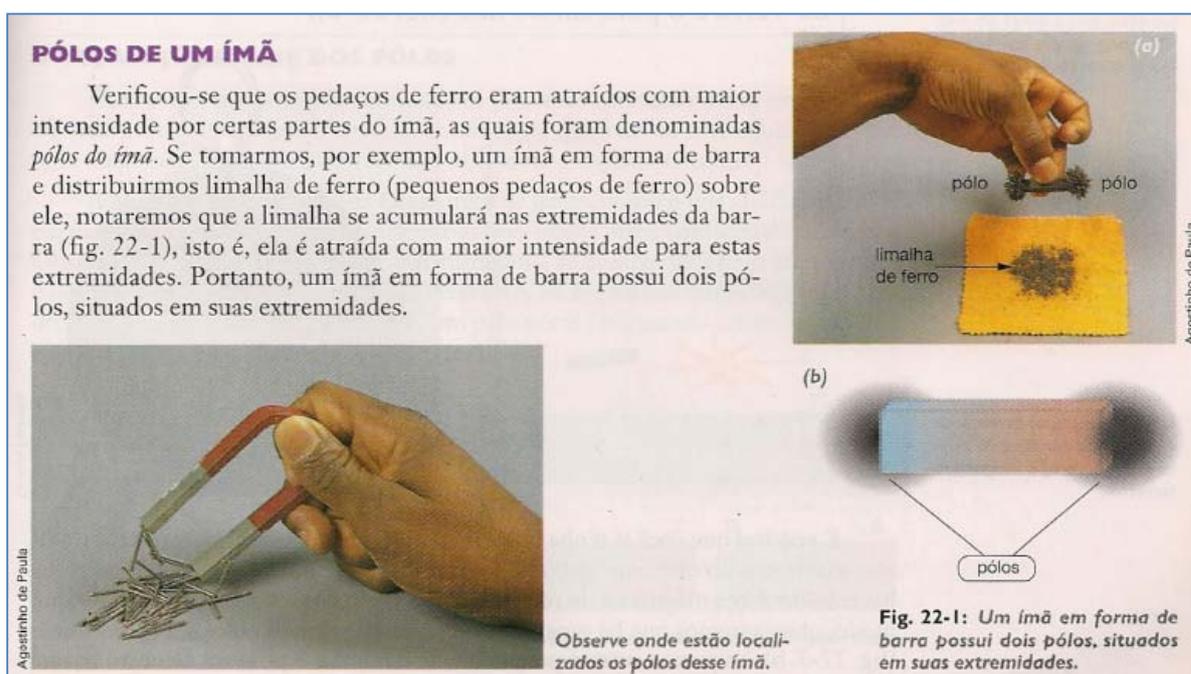


Figura 1.12 – Exemplo de coerência e coesão multimodal: texto verbal, fotografias e desenhos orquestrados em torno de um mesmo tema com uso de uma boa deíxis discursiva.

Todos os modos de comunicação empregados nesse segmento do texto estão relacionados à construção da noção de pólos de um ímã. O exemplo utilizado no texto verbal é o de um ímã em forma de barra. A fotografia mais à esquerda mostra um ímã em forma de barra que retrata o que diz o texto verbal: o acúmulo de limalha de ferro nas extremidades. O desenho abaixo da fotografia mostra em detalhe a região em que se encontram os pólos. Embora cada modo comunique a informação de forma distinta, devido às suas potencialidades e limitações, todos os modos de comunicação foram empregados de maneira a conferir unidade ao texto, pelo fato de terem sido orquestrados em torno de um tema comum: a existência de pólos de um ímã. Essa redundância que se observa no emprego de diversos modos para comunicar a mesma gama de informações a respeito de um dado tema é benéfica e auxilia o leitor na produção de sentidos. Esses fatores explicam a sensação do fragmento de texto em questão apresentar coerência multimodal.

A coesão multimodal emerge do uso de índices dêiticos do tipo “Fig. 22-1”, que aparecem tanto no texto verbal quanto na legenda das inscrições, bem como de expressões do tipo “observe que” usadas para remeter o leitor a um aspecto específico da inscrição que foi explicitamente mencionada no texto verbal. Essas conexões entre os diferentes modos utilizados na construção do texto é que constituem os elementos de coesão multimodal.

A diagramação do texto também concorre nesse sentido por meio de um estatuto topológico que é intrínseco aos modos visuais. Assim, a fotografia do segmento de texto multimodal que aparece abaixo e à esquerda na figura 1.12 não é mencionada explicitamente no texto verbal, mas, sua proximidade com o texto que trata da existência de pólos em um ímã atua no sentido de garantir a coesão multimodal. Em síntese, por meio dos índices dêiticos, de expressões verbais inseridas nas legendas e no próprio texto verbal e da diagramação da página, o autor de um texto didático sugere um caminho coerente que o leitor deve trilhar na leitura e interpretação de um texto multimodal.

A coerência e a coesão textuais visam proporcionar uma inter-relação semântica entre os enunciados em um texto. Costa Val (2006) afirma que o nexos entre os enunciados é fundamental para que uma sequência de frases possa ser compreendida como um texto. No entanto, afirma ela, nem sempre esse nexos está explicitamente apresentado no texto por meio de um recurso de coesão gramatical e cita o exemplo a seguir para ilustrar isso: “O Pedro vai buscar as bebidas. A Sara tem que ficar com os meninos. A Tereza arruma a casa. Hoje eu vou precisar da ajuda de todo mundo.” (COSTA VAL, 2006, p. 7). A frase possui sentido, embora não apresente marcadores de coesão. O nexos entre os enunciados é alcançado não no nível gramatical, mas no nível semântico-cognitivo (idem, p. 8).

Esta suposição de que o leitor será capaz de preencher as lacunas exibidas pela falta de recursos linguísticos de coesão, também ocorre em textos multimodais. Nos textos multimodais dedicados ao ensino das ciências, contudo, é grande o trabalho semiótico

ligado à significação dos modos, o que diminui as chances de que o leitor venha a construir, por sua própria conta e risco, a coesão multimodal necessária à interpretação do texto.

Capítulo 2 – Metodologia

Neste capítulo apresentamos os procedimentos metodológicos adotados na realização deste estudo. Como colocado na introdução desse trabalho, o objetivo geral de nossa pesquisa é identificar e analisar as estratégias de integração dos diferentes modos de comunicação utilizadas por autores na elaboração de textos didáticos de Física para o Ensino Médio. Perseguindo esse objetivo, elegemos uma questão central para o nosso trabalho: como os autores de livros didáticos utilizam e integram os diferentes modos de comunicação e representação na composição dos textos multimodais sobre o efeito fotoelétrico, de forma a alcançar certos propósitos retóricos? A resposta a essa questão nos ajudará a compreender os processos de orquestração de recursos verbais e não-verbais que conduzem a textos que contribuam, de forma mais efetiva, para o aprendizado dos estudantes.

Para respondermos a essa questão de pesquisa, nos propusemos a analisar textos didáticos sobre o Efeito Fotoelétrico (EF). Optamos por analisar textos de livros didáticos em função da importância que este recurso tem no cenário educacional brasileiro, conforme já apontamos anteriormente. Iniciaremos nossas colocações discorrendo sobre a escolha do tema EF e também sobre a escolha de dois, dos dez livros que constam no PNLD Ensino Médio 2012, para serem utilizados como textos empíricos em nosso trabalho.

No início da pesquisa, lidamos com textos de FMC contidos nos livros de Física selecionados pelo PNLEM 2009 (até aquela data o PNLD Ensino Médio era denominado PNLEM). Das seis obras que constavam no PNLEM 2009, uma primeira análise nos levou à constatação de que apenas quatro delas apresentavam unidades dedicadas ao ensino da FMC. Ao realizarmos uma primeira leitura dos textos presentes nas unidades de FMC dessas quatro obras, constatamos que os textos destinados ao tratamento do EF empregavam diversos modos de comunicação e eram relativamente pouco extensos. Essas duas características nos mostraram que os textos sobre o EF seriam os mais adequados a nossa pesquisa. Afinal, uma maior diversidade e concentração de modos, empregados na composição de um mesmo texto, demandariam mais estratégias de orquestração multimodal. Cabe ressaltar que daquelas quatro obras, apenas três apresentavam uma seção específica destinada ao tratamento do EF. Assim, tínhamos três obras que julgamos como adequadas ao nosso estudo.

À medida que fomos avançando na compreensão de nosso referencial teórico, bem como estudando os textos de EF das três obras inicialmente selecionadas, nossas questões de pesquisa foram tomando contornos mais específicos, assumindo a forma apresentada na introdução desta dissertação. Esse movimento fez com que assumíssemos a hipótese de

que a melhor maneira de identificar e analisar as estratégias de orquestração dos diferentes modos de comunicação utilizadas nos textos de EF seria a escolha por obras que apresentassem características diferentes no que tange aos recursos usados na orquestração multimodal. Deste modo, poderíamos contrastar as diferentes formas de orquestração e avaliar, à luz de nosso referencial teórico, se essas formas contribuem para facilitar a aprendizagem. O problema é que os livros do PNLEM 2009 apresentavam textos com poucas diferenças marcantes em termos das estratégias de orquestração multimodal (duas das três obras eram dos mesmos autores, possuindo textos quase idênticos sobre o EF).

Essa limitação nos levou a buscar novas obras, mais adequadas à realização de nosso estudo. O problema logo se resolveu pela chegada de mais obras selecionadas pelos programas nacionais de distribuição de livros. Passamos, pois, a lidar com os títulos que constam no PNLD 2012 Ensino Médio.

No PNLD 2012 Ensino Médio a componente curricular Física é composta de dez obras. Uma primeira leitura superficial dessas dez obras nos mostrou que um número muito maior de autores elaborou unidades com capítulos dedicados à FMC. Dessas, nove obras possuem capítulos ou seções de capítulos que tratam do EF. Constatamos, também, que entre essas nove obras há uma variação muito grande no número de páginas dedicadas ao tratamento do EF em cada livro. Enquanto em alguns livros o texto de EF ocupa sete páginas, em outros ele ocupa apenas uma ou duas. Essa variação tem influência sobre a diversidade de modos utilizados na composição dos textos: textos com poucas páginas geralmente estão associados a poucos modos não-verbais diferentes.

Dentre os nove livros do PNLD Ensino Médio 2012 que possuem capítulos ou seções de capítulos que tratam do EF, um deles nos chamou bastante a atenção pela forma diferente como seus autores compuseram o texto. Trata-se do livro *Física em contextos: pessoal, social e histórico*, de Pietrocola et al. (2010). Nesse livro foram encontradas formas de uso dos modos que não apareceram em nenhuma outra obra. Por essa razão, julgamos que uma análise desse livro poderia oferecer informações relevantes com respeito ao nosso objeto de análise. Além disso, nesse livro, o texto que trata do EF possui uma grande diversidade de modos, o que é coerente com a nossa orientação de pesquisa.

Para estabelecermos um contraste com o livro de Pietrocola et al. (2010), que consideramos como muito diferente, optamos pelo livro *Física Ciência e Tecnologia*, de Torres et al. (2010), que pode ser considerado como representativo dos livros que apresentam uma forma mais usual de abordar o EF, tal como aquela que havia sido identificada nas três obras previamente selecionadas no PNLEM 2009. Além disso, outros dois pontos pesaram nessa escolha: i) na edição de 2010 desse livro aparece um texto quase idêntico à sua edição anterior (PENTEADO e TORRES, 2005) que constava no

PNLEM 2009; nós já estávamos bastante familiarizados com esse texto, por ter sido um dos primeiros a que tivemos acesso; ii) o texto sobre o EF desse livro ocupa 2,5 páginas, um número bastante inferior ao livro de Pietrocola et al. (2010) que ocupa 7,2 páginas. Apesar dessa diferença no número de páginas, não há uma grande diferença na diversidade de modos utilizados. Pensamos que uma análise desses dois textos, muito distintos em alguns aspectos, poderia ser reveladora das diferenças de estratégia de orquestração multimodal.

Assim, nosso corpus empírico foi constituído pelos textos de EF encontrados nos livros *Física em contextos: pessoal, social e histórico*, de Pietrocola et al. (2010) e *Física Ciência e Tecnologia*, de Torres et al. (2010).

Após esse primeiro movimento de análise, em que definimos o tema e o corpus empírico com o qual iríamos trabalhar, realizamos um levantamento quantitativo da diversidade de modos encontrados nos textos de EF dos dois livros selecionados. A partir desse levantamento pudemos caracterizar os textos de EF como bons exemplos de textos multimodais.

Feita a caracterização dos textos, passamos para a fase em que realizamos diversas leituras. Uma primeira leitura, mais geral, serviu para nos dar uma visão ampla da estrutura dos dois textos selecionados. Essa leitura nos permitiu perceber que, embora sejam utilizadas formas diferentes de tratar o tema, há uma estrutura semelhante nos dois textos. Além disso, essa leitura nos ajudou a definir a nossa unidade de análise.

Definimos como nossa unidade de análise a função retórica que um segmento de texto multimodal visa desempenhar junto ao leitor. Desse modo, por exemplo, quando a função retórica é guiar o olhar, isto é, quando o enunciador deseja orientar o enunciatário a “ver” aquilo que ele quer que o enunciatário veja, a opção pela utilização de uma sequência textual descritiva é a mais adequada. Outro modo de cumprir essa mesma função retórica é inserir uma fotografia tal como a apresentada, a título de exemplo, na figura 1.4, (cf. página 33). Como salientamos anteriormente, na composição dessa fotografia foram retirados quaisquer objetos ou elementos em segundo plano. Além disso, o ponto de vista assumido pela câmara fotográfica destaca, em primeiro plano, as informações sobre potência e tensão inscritas no bulbo branco da lâmpada escolhida. Vários elementos e aspectos da constituição desse tipo de lâmpada ficam, desse modo, ocultados ou desconsiderados na fotografia.

A escolha da função retórica como unidade de análise faz com que a extensão dos fragmentos de texto identificados com uma dada função varie de modo significativo. Assim, em alguns casos, uma função retórica pode ser identificada em um único parágrafo do texto verbal, que pode ou não vir orquestrado a uma ou mais de uma inscrição. Há casos em que uma função retórica fica associada a mais de um parágrafo e a um bom número de diferentes inscrições, tais como desenhos icônicos e/ou esquemáticos, gráficos e

expressões algébricas. Em outros momentos, uma função retórica emerge de uma única oração do texto verbal ou de uma única inscrição.

Para identificar a função retórica desempenhada por um segmento de texto particular, utilizamos, inicialmente, os tipos de textos para categorizar cada segmento do texto presente no livro. Como definido em nosso referencial teórico, a cada tipo de texto pode ser associada uma função retórica. A tabela 2.1, a seguir, mostra uma lista das funções retóricas que utilizamos em nossa análise, associadas aos diferentes tipos de textos.

Tabela 2.1 – Tipos de textos e funções retóricas associadas	
Tipo de texto	Função retórica
Argumentação	Persuadir ou convencer pela apresentação de argumentos que reforçam a tese defendida, quer seja para afirmá-la como <i>episteme</i> (ao invés de <i>doxa</i>), quer seja para confrontá-la com teses concorrentes
Explicação	Compartilhar uma forma de compreender ou interpretar um fenômeno pelo estabelecimento de relações causais e necessidades lógicas
Descrição	Compartilhar uma forma de ver um processo, objeto ou fenômeno, guiando o olhar sobre os elementos importantes/necessários
Injunção	Fazer agir de modo específico a fim de obter determinado resultado
Definição	Compartilhar a forma pela qual os membros de uma cultura se referem ou denominam um processo ou objeto
Narração	Compartilhar uma forma de compreender ou interpretar eventos, acontecimentos ou fenômenos pelo estabelecimento de relações genéticas entre os elementos que o compõem
Exemplificação	Estabelecer um vínculo entre uma classe de referentes e um referente específico (contextualizar)

A identificação das funções retóricas dos diversos segmentos de textos, bem como as noções de coerência e coesão em textos multimodais, foram os elementos empregados por nós para analisar e avaliar a orquestração multimodal. Por exemplo, a função retórica que o texto descritivo visa desempenhar é a de guiar o olhar do leitor. Se a este texto descritivo estiver associada uma inscrição cujo objetivo é apresentar um exemplo, julgamos que a integração foi mal estabelecida. Nesse caso, houve uma quebra da coerência multimodal do texto. A falta de coerência pode se manifestar, também, quando o texto verbal e a inscrição, explicitamente associada a ele, tratam de temas diferentes.

A análise da integração entre os diferentes modos de comunicação nos permitiu tecer considerações a respeito do trabalho semiótico que um leitor teria ao tentar ler e interpretar o texto analisado. Os movimentos de leitura necessários à significação dos elementos verbais e não-verbais, os processos necessários ao estabelecimento de relações

entre estes elementos e as conexões com outros capítulos do livro são explicitados de modo a revelar a complexidade envolvida na leitura dos textos multimodais de EF analisados. Procuramos mostrar que uma orquestração adequada dos modos pode facilitar o trabalho do leitor, ao passo que uma conjunção inadequada implica em maior trabalho semiótico a ser realizado pelo leitor.

Para explicitar os movimentos de leitura e interpretação necessários à significação das inscrições presentes nos livros, utilizamos as considerações apresentadas em nosso referencial teórico acerca das estratégias de interdição da leitura ou de restrição das possibilidades de interpretação de textos não-verbais. Além disso, quando pertinente, utilizamos o modelo proposto para leitura de inscrições em camadas para apontar alguns dos movimentos que o leitor deve executar a fim de significar um dado conjunto de texto verbal/texto não-verbal.

Após emprendermos uma análise sobre cada um dos textos separadamente, realizamos uma comparação entre os dois textos, de forma a apontar vantagens e desvantagens de se utilizar uma integração particular de modos. Nossa intenção com esse contraste é extrair algumas implicações para a educação em ciências, particularmente endereçadas a professores de Física e produtores de materiais didáticos.

Antes de passarmos ao capítulo de análise cabe uma última colocação. Embora tenhamos reiterado em diversos momentos que nosso olhar sobre o texto dos livros não estaria focado em apontar incorreções e inadequações conceituais, não poderemos deixar de mencioná-las quando julgarmos que elas interferem na coesão e na coerência que deve ser estabelecida entre os diferentes modos de comunicação presentes no texto.

Capítulo 3 – Análise dos textos empíricos

Neste capítulo apresentamos a análise dos textos selecionados. Na primeira seção, procuramos caracterizar os textos de EF dos livros selecionados como textos multimodais. A segunda seção é dedicada a uma análise do texto de EF presente no livro *Física Ciência e Tecnologia*, de Torres et al. (2010). Na terceira seção apresentamos uma análise pormenorizada do texto de EF do livro *Física em contextos: pessoal, social e histórico*, de Pietrocola et al. (2010). Por fim, na última seção, contrastamos as estratégias de orquestração multimodal encontradas nos dois textos, a partir dos resultados das análises realizadas nas seções 3.2 e 3.3.

3.1 - O estatuto multimodal dos textos sobre o Efeito Fotoelétrico

Em princípio, poderíamos dizer que todo texto dedicado ao ensino de Física é um texto multimodal. Não é raro encontrarmos unidades sobre Mecânica, Óptica e Eletromagnetismo onde se fazem presentes palavras escritas, fotografias, desenhos, gráficos e expressões algébricas. A justificativa para termos escolhido os textos de EF se deve ao fato de encontrarmos uma grande diversidade de modos de comunicação nesses textos, conforme afirmamos anteriormente.

Uma primeira análise dos livros selecionados pelo PNLEM 2009 e PNLD 2012 Ensino Médio nos permitiu observar que diferentes livros apresentam números maiores ou menores de páginas dedicadas ao tratamento dos temas de FMC. Nossa interpretação é que isso pode estar relacionado a vários e diferentes fatores. Um desses fatores remete ao projeto editorial da obra. Alguns livros apresentam muitos textos complementares com suplementos históricos sobre os indivíduos que se destacaram nos estudos de um determinado tema ou com exemplos de aplicações tecnológicas para determinados fenômenos. Outro fator deriva da importância atribuída pelo autor aos temas de FMC. Alguns autores, por exemplo, não tratam do EF e da radiação de corpo negro em seus livros, apesar de haver grande consenso entre pesquisadores e professores *experts* sobre a importância desses dois tópicos para a introdução da FMC na Educação Básica. Esses e outros fatores influenciam na definição do número de páginas que os livros dedicam ao tratamento do EF e, naturalmente, na diversidade de modos empregados na elaboração do texto.

A tabela 3.1, a seguir, mostra o número de páginas destinadas ao tratamento do tópico EF em livros do PNLEM 2009 e no PNLD 2012 Ensino Médio, bem como o número dos variados modos que podem ser encontrados nessas páginas. O texto verbal, como

acontece em toda a extensão dos livros didáticos dedicados a qualquer conteúdo, sempre aparece em todas as páginas. Por essa razão, a presença desse modo de comunicação e pensamento não foi sinalizada na tabela.

Para compor os dados da tabela foram considerados apenas os livros que apresentavam um capítulo ou uma seção de um capítulo destinada especificamente ao EF. Assim, dentre os dezesseis livros que constam nos PNLEM 2009 e PNLD Ensino Médio 2012, apenas doze foram listados na tabela. Também não foram contadas as páginas com exercícios propostos, mesmo quando elas apareciam logo após o texto sobre o EF. Tal opção pela não inclusão das páginas com exercícios propostos esteve pautada no fato de alguns livros apresentarem os exercícios de EF juntamente com exercícios de outros assuntos, geralmente ao final do capítulo, o que dificulta o cômputo dessas páginas.

Pelos dados da tabela 3.1 é possível afirmar que os textos de EF dos livros listados se configuram como produções multimodais. Mesmo naqueles livros em que se utiliza uma menor diversidade de modos, pelo menos três modos distintos estão presentes.

Os dados da tabela 3.1 também evidenciam que alguns dos livros utilizam uma maior diversidade de modos. As três linhas sombreadas destacam os livros em que são utilizados cinco modos não-verbais de comunicação. Os dois livros que optamos por analisar estão entre esses três.

Tabela 3.1 – Número de páginas e de modos não-verbais dos textos de efeito fotoelétrico de alguns livros do PNLEM 2009 e do PNLD 2012 Ensino Médio						
Livro	Nº de páginas	Nº de fotografias	Nº de desenhos	Nº de gráficos	Nº de equações	Nº de tabelas
<i>Universo da Física</i> , Sampaio e Calçada, 2005	2,4	0	4	2	5	1
<i>Física Ciência e Tecnologia</i> , Torres e Penteadó, 2005	2,2	1	2	2	3	1
<i>Física</i> , Sampaio e Calçada, 2005	2,8	0	3	1	5	1
<i>Compreendendo a Física</i> , Gaspar, 2010	3,2	0	4	0	2	1
<i>Curso de Física</i> , Máximo e Alvarenga, 2010	1,2	0	1	0	1	0
<i>Conexões com a Física</i> , Sant'ana et al., 2010	5,6	1	6	5	1	0
<i>Física Ciência e Tecnologia</i> , Torres et al., 2010	2,5	1	2	3	3	1
<i>Quanta Física</i> , Menezes et al., 2010	0,8	0	1	0	1	0
<i>Física</i> , Biscuola et al., 2010	4,4	1	8	2	5	1
<i>Física aula por aula</i> , Silva e Barreto, 2010	1,1	0	2	0	1	0
<i>Física em contextos: pessoal, social e histórico</i> , Pietrocola et al., 2010	7,2	5	4	3	3	1
<i>Física para o Ensino Médio – Fuke e Yamamoto</i> , 2010	2,5	0	4	1	2	0

O gráfico da figura 3.1, a seguir, reapresenta os dados da tabela 3.1 e facilita a comparação entre as diferentes quantidades de inscrições ou modos não-verbais presentes nos dois livros selecionados para análise.

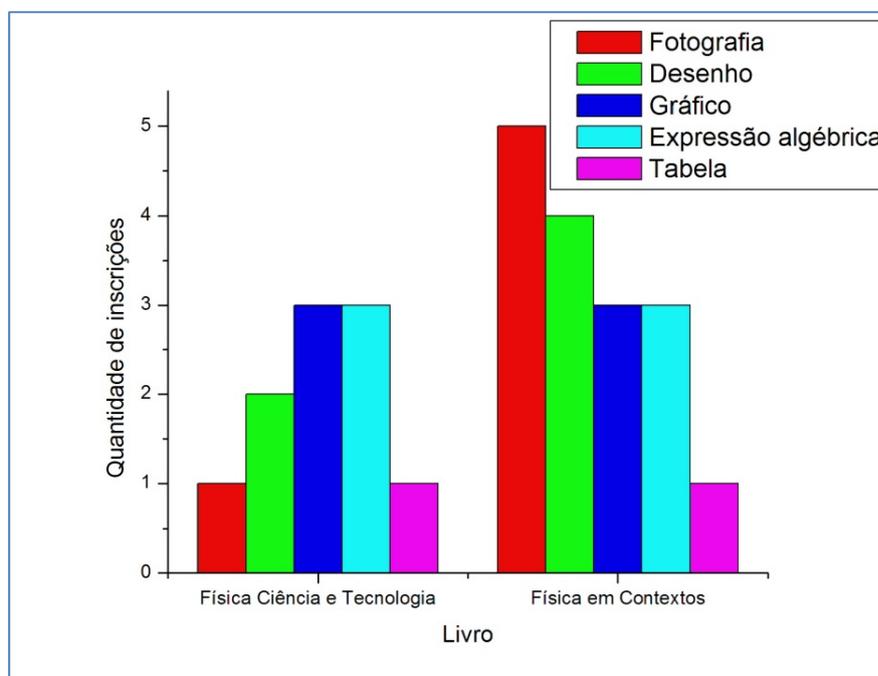


Figura 3.1 – Gráfico mostrando a quantidade dos diferentes tipos de inscrições encontradas nos livros selecionados para análise.

O gráfico acima mostra que a quantidade de expressões algébricas e de gráficos é a mesma nos dois livros. Essa semelhança vai além das quantidades. Os próprios gráficos e as expressões algébricas são quase que idênticos. No entanto, esses modos são integrados ao texto de forma muito diferente, como mostraremos na análise. Os demais modos não-verbais são muito distintos. Por exemplo, a tabela que aparece no livro *Física Ciência e Tecnologia* possui apenas números e letras em suas linhas, já a tabela que aparece no livro *Física em Contextos* traz fotografias, desenho e texto verbal.

Embora existam muitas diferenças entre os dois textos, eles possuem uma composição textual verbal semelhante. Em linhas gerais os autores dos dois textos descrevem e caracterizam o EF, afirmam que a física clássica não fornecia explicações coerentes com os resultados experimentais e apresentam a teoria de Einstein como aquela que concordava com os resultados experimentais. Outras escolhas, todavia, seriam possíveis, como a utilização de sequências textuais narrativas ou argumentativas, que demandassem a participação do leitor na definição da teoria mais consistente com os resultados experimentais produzidos durante a investigação do EF.

Afirmamos, a partir de nosso referencial teórico, que não existem modos que possam ser considerados melhores ou mais importantes que outros, pois, afinal os diferentes modos de comunicação e pensamento possuem diferentes potencialidades e limitações. Por isso

mesmo, alguns modos são mais adequados a uma demanda comunicativa que outros, uma especialização funcional que emerge dos usos sociais de cada modo em uma determinada cultura. O que observamos nos livros didáticos é que o texto verbal não só está presente como exerce o papel de articulador principal dos outros modos. É por meio do texto verbal que o autor direciona o leitor para uma inscrição particular. O texto verbal é o modo pelo qual os autores procuram integrar os demais modos de comunicação que fazem parte do texto.

A presença do modo verbal é uma característica marcante do livro didático e pode estar associada à falsa suposição de que a leitura do texto verbal é menos problemática que a leitura das inscrições. Tal suposição pode estar baseada em nossa vivência particular com esse modo de comunicação. Contudo, devemos considerar que, para o leitor não iniciado, a densidade léxica dos textos dedicados ao ensino das ciências pode ser um complicador para a aprendizagem. A presença de muitos termos técnicos e definições, característica marcante dos textos científicos, torna esses textos difíceis de serem compreendidos pelos estudantes (BRAGA e MORTIMER, 2003).

Nas seções que se seguem apresentamos uma análise pormenorizada de cada um dos textos selecionados. As páginas dos textos sobre EF estão inseridas junto à análise. Embora as páginas tenham sido segmentadas, nossa análise percorre o texto do livro do início ao fim. Assim, se o leitor quiser ter uma idéia do texto do livro na íntegra, pode olhar apenas para as páginas dos livros reproduzidas junto ao texto de análise.

3.2 – Análise do livro Física Ciência e Tecnologia de Torres et al., 2010

O texto sobre o EF no livro *Física Ciência e Tecnologia* é apresentado na terceira seção de um capítulo sobre Física Quântica. Nesse capítulo a Física Quântica é apresentada como uma revolução na forma como os cientistas explicavam os fenômenos naturais. No final do século XIX as teorias propostas pela Física Clássica se mostravam incapazes de explicar determinados fenômenos. Os modelos teóricos clássicos não se ajustavam aos resultados experimentais. A resolução da incompatibilidade surge com a proposição da teoria quântica. O EF é um dos fenômenos que não podiam ser explicados pela teoria clássica.

Na segunda seção do livro, que antecede a seção sobre o EF, os autores tratam da radiação de corpo negro. Nessa segunda seção aparecem as primeiras ideias sobre a quantização da radiação e também o nome de Max Planck (que foi quem propôs que a radiação deveria ser quantizada).

A seção sobre o EF ocupa 2,5 páginas do livro. Dessas 2,5 páginas, 0,4 página é utilizada para a apresentação de um exercício resolvido, ao final da seção.

O título “3 Efeito fotoelétrico” marca o início da seção que trata do EF (veja a figura 3.2). Assim como todo título, esse cumpre a função ideacional de apresentar o tema sobre o qual o texto discorrerá. A função textual do título é realizada com a ajuda da diagramação, que destaca o número “3” dentro de um quadrado colorido e o texto verbal “Efeito fotoelétrico” com uma fonte maior do que aquela utilizada no restante do texto. Juntamente com o uso do negrito, essa diagramação serve para indicar para o leitor que uma nova seção, que trata de um novo assunto está para se iniciar e que o leitor deve se preparar para lidar com o novo assunto a ser tratado.

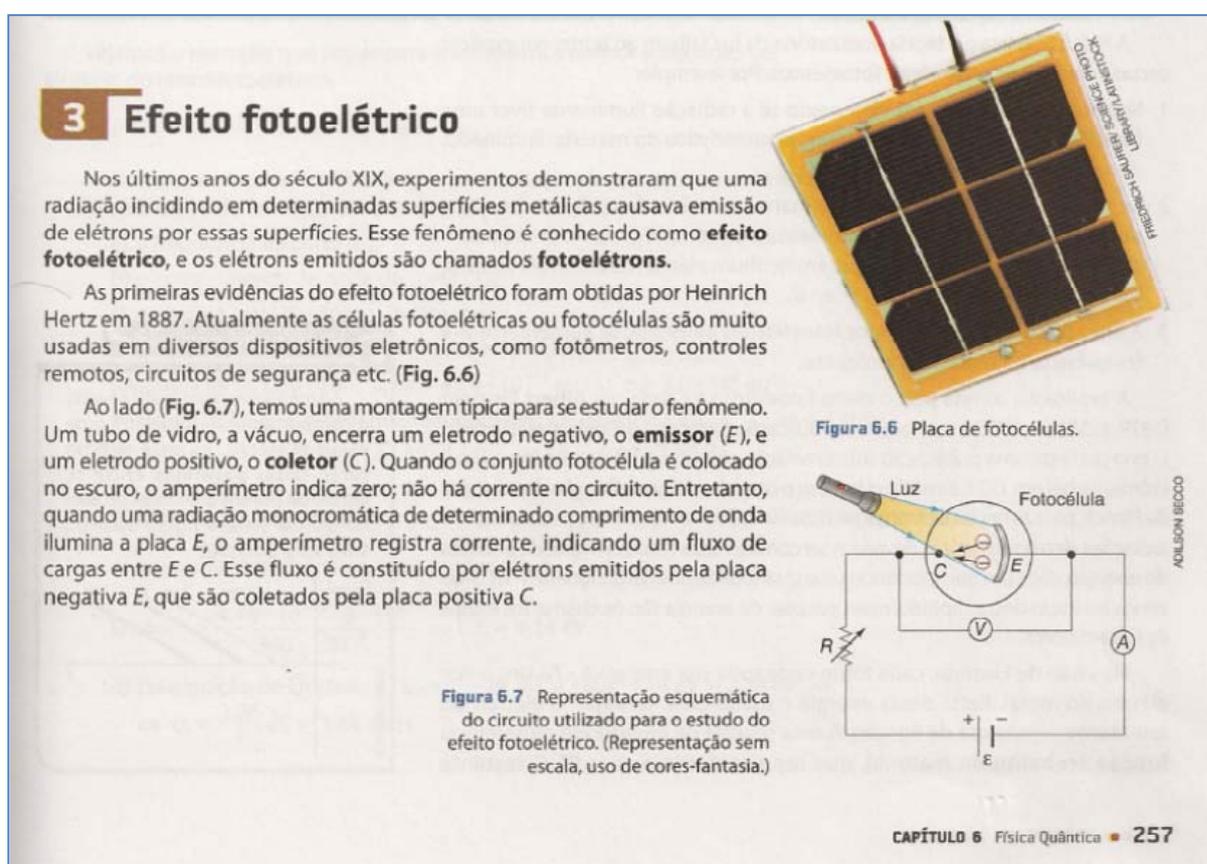


Figura 3.2 – Texto dos parágrafos 1, 2 e 3, da seção sobre o EF, do livro Física Ciência e Tecnologia (p. 257).

No primeiro parágrafo são apresentadas duas definições importantes que dizem respeito ao tema EF. Estas definições são marcadas pelo uso de dois termos técnicos, sinalizados em negrito no texto verbal: **efeito fotoelétrico** e **fotoelétrons**. O uso do negrito para destacar esses dois grupos nominais tem uma função textual clara: sinalizar para o leitor a importância desses termos dentro do texto de EF.

Aos enunciados desse primeiro parágrafo do texto também podem ser associadas as funções interpessoal e ideacional. Do ponto de vista interpessoal, a opção por recorrer a uma definição dos termos em negrito indica que os autores concebem o leitor como um sujeito que desconhece o significado dos termos “efeito fotoelétrico” e “fotoelétrons”. Assim sendo, os autores decidem compartilhar com o leitor a forma como a ciência denomina esse fenômeno e uma entidade a ele associada. Do ponto de vista ideacional, os enunciados que compõem as duas definições colocam em evidência uma entidade (fotoelétron) e o fenômeno ao qual ela está associada (efeito fotoelétrico).

É por meio de um processo de nominalização que o fenômeno da emissão de elétrons por uma placa metálica, devido à incidência de luz, passa a ser reconhecido pelo grupo nominal “efeito fotoelétrico”. Assim, em todos os momentos posteriores em que este grupo nominal voltar a aparecer no texto, o leitor precisa ter em mente todos aqueles significados vinculados à expressão por meio da nominalização. O mesmo se pode afirmar a respeito da palavra fotoelétrons, que, utilizada nesse contexto, serve para se referir aos elétrons emitidos por uma placa metálica, que sofre a incidência de luz de frequência adequada.

Nas demais ocorrências das expressões “efeito fotoelétrico” e “fotoelétrons” não há mais o uso do negrito. Uma vez que a definição foi apresentada ao leitor, assume-se que a associação entre os grupos nominais e os significados que eles carregam está estabelecida. Por isso afirmamos que as definições auxiliam, mas também funcionam como complicadores. Em todo momento posterior em que os grupos nominais citados acima forem encontrados, o leitor precisará ter em mente todos aqueles significados associados a eles. Isso quer dizer que ele precisa imaginar todo o processo que foi denominado como “efeito fotoelétrico”.

No segundo parágrafo, os autores realizam duas referências: uma à história da observação do EF e outra a algumas supostas aplicações tecnológicas do EF. A referência à história da observação do EF aparece também em outros dois momentos do texto: no início do primeiro parágrafo e no início do nono parágrafo (mostrado na figura 3.6). Essas referências históricas, contudo, não são desenvolvidas pelos autores, de forma que não se pode dizer que o texto contém sequências textuais narrativas ou que ele efetivamente trata da história das ciências. São apenas poucas e breves referências a datas e personagens considerados como importantes na história do EF.

Diferentemente do que ocorre com a referência aos aspectos históricos envolvidos na observação e estudo do EF, as aplicações tecnológicas que os autores atribuem ao EF, apresentadas no segundo parágrafo do texto, recebem certo destaque. A referência é feita por um segmento de texto que apresenta uma exemplificação.

O uso de uma exemplificação revela a intenção dos autores em realizar um deslocamento do abstrato para o concreto, estabelecendo uma ligação entre o mundo dos objetos e eventos e o mundo das teorias e conceitos. Nesse caso, os autores concebem o leitor como um indivíduo que vive em um mundo repleto de equipamentos tecnológicos, mas que desconhece que existe alguma relação entre os conceitos apresentados no livro e o funcionamento desses equipamentos. Por meio da exemplificação os autores querem mostrar a esse leitor que o funcionamento desses equipamentos está relacionado ao fenômeno estudado na seção.

Com o intuito de reforçar essa aproximação entre os mundos vivido e concebido, os autores associam ao texto verbal uma fotografia de um dispositivo que eles denominam, idiossincraticamente, como “placa de fotocélulas”, mas que na verdade, trata-se de uma célula fotovoltaica, vulgarmente conhecida como célula solar. O estabelecimento da ligação entre o texto verbal e a fotografia é realizado pelo índice dêitico **Fig. 6.6**, presente no final do texto verbal do parágrafo, que direciona o leitor para a fotografia. Um índice semelhante “Figura 6.6”⁶ aparece na legenda da fotografia (veja a figura 3.2).

A opção feita pelos autores em associar uma fotografia ao texto verbal exemplificativo do segundo parágrafo é condizente com a orientação de estabelecer uma aproximação entre os mundos vivido e concebido. Em se tratando de um texto impresso, as fotografias são as representações mais próximas do mundo vivido. Essa característica decorre tanto da quantidade de detalhes que a fotografia apresenta, quanto da tendência do leitor em associar fotografias à “realidade”, que advém da experiência de fotografar ou de observar o registro de objetos e eventos por meio das fotografias. Pode ser que, para um leitor não iniciado, o objeto representado na fotografia não seja reconhecido. Contudo, é bastante provável que ele acredite que tal objeto exista no mundo vivido, pois o mesmo foi retratado por meio de uma fotografia.

Com essa escolha feita pelos autores, a coerência entre o texto verbal do segundo parágrafo e a fotografia foi adequadamente estabelecida (ambos exercem uma função exemplificativa). O mesmo não se pode dizer a respeito da coerência entre texto e fotografia, quando consideramos coerência do ponto de vista da correção conceitual. Nesse sentido, podemos dizer que a orquestração dos modos verbal e não-verbal é apenas parcialmente bem realizada. A ausência de coerência decorre do seguinte: nos exemplos apresentados pelos autores no texto verbal (fotômetros, controles remotos, circuitos de segurança) são usados dispositivos que não possuem relação direta com o objeto representado na fotografia. É verdade que tanto nos sensores usados nos aparelhos citados

⁶ Todas as vezes que apresentarmos uma referência a uma figura, entre aspas, estaremos nos referindo à legenda da figura mostrada na página do texto do livro didático analisado e não a uma figura da dissertação. As figuras presentes na dissertação são referidas sem aspas.

no texto verbal exemplificativo, quanto no objeto mostrado na fotografia, são usados materiais semicondutores em que ocorre uma interação entre a luz e os elétrons do material. Contudo, nesses dois casos, as estruturas possuem denominações específicas e não devem ser associadas às palavras “células fotoelétricas” e “fotocélulas”, como fazem os autores no texto verbal.

Nos fotômetros, controles remotos e circuitos de segurança podem ser utilizados diversos tipos de dispositivos semicondutores tais como fotodiodos, fototransistores ou LDRs (Light Dependent Resistor). Nenhum desses dispositivos se assemelha, do ponto de vista da estrutura e do funcionamento, à célula fotovoltaica que aparece na fotografia escolhida pelos autores.

As células fotoelétricas se assemelham à estrutura mostrada na figura 3.3, ao lado. Dispositivos semelhantes ao mostrado nessa figura foram muito utilizados na automação de processos e na leitura de trilhas sonoras de filmes na “era das válvulas”. Atualmente, tais dispositivos são empregados apenas em materiais didáticos para a reprodução e o estudo do EF (veja um exemplo na próxima seção).

A identificação dessa incoerência nos aponta certa falta de cuidado com respeito ao uso dos exemplos para aproximar os mundos vivido e concebido. O uso de bons exemplos pode auxiliar a aprendizagem de conceitos. Já o emprego de maus exemplos pode levar os estudantes a construírem maneiras equivocadas de compreender os fenômenos. Nas células fotoelétricas, os elétrons deixam um eletrodo e se deslocam em direção ao outro eletrodo passando pelo espaço vazio. Nos dispositivos semicondutores sensíveis à luz, isto é, naqueles em que ocorre uma modificação das características elétricas em função da incidência de luz, os elétrons estão sempre no material. Eles migram de uma região para a outra do material, mas não saem do material.

Para perseguir a coerência multimodal, isto é, para orquestrar de modo adequado um texto verbal exemplificativo com imagens ilustrativas, os autores poderiam ter optado por estabelecer uma ponte entre a velha tecnologia das células fotoelétricas e a nova tecnologia dos dispositivos baseados em materiais semicondutores. Aliás, tal relação, nos parece mais coerente com o título do livro: “Física, Ciência e Tecnologia”. Os autores dão sinais que compreendem o fato de que o EF possui uma história de desenvolvimento, ao inserir breves referências a datas e personagens associados a essa história. Poderiam, também, apresentar uma perspectiva histórica da tecnologia mostrando aos seus leitores que ela se desenvolve ao longo do tempo.



Figura 3.3 – Exemplo de célula fotoelétrica (RCA 935).

O terceiro parágrafo apresenta um texto descritivo. Nesse texto aparecem descrições de duas diferentes ordens: uma descrição de objetos e uma descrição dos processos em que estão envolvidos esses objetos. O texto verbal descritivo é fortemente integrado a uma inscrição que fica ao lado do mesmo. Trata-se de um desenho que mistura elementos icônicos e esquemáticos, formando uma inscrição em camadas (cf. figura 3.2, pág. 73). São três as camadas que podem ser identificadas naquele desenho: i) símbolos que representam elementos de um circuito elétrico; ii) uma estrutura formada por um círculo grande que contém em seu interior um ponto, as letras C e E, uma espécie de placa em curva e duas bolinhas com um tracinho dentro, ligados a duas setas; iii) um desenho icônico de uma lanterna com uma área amarela em frente. Essa área amarela possui um dégradé e suas bordas possuem setas. Podem ser percebidas, ainda, as duas palavras “Luz” e “Fotocélula” na legenda interna da inscrição.

Logo no início do texto verbal um índice dêitico “(Fig. 6.7)” direciona o olhar do leitor para a inscrição. A associação do texto com a inscrição é realizada por meio de um índice muito semelhante “Figura 6.7” que aparece na legenda que acompanha o desenho. Nesse caso, a legenda cumpre o papel de orientar o olhar do leitor na leitura daquela inscrição, que não deve ser vista como um monte de retas, curvas e palavras, mas como uma representação esquemática de um circuito destinado à produção e à investigação do EF. Desta forma a legenda restringe as possibilidades de leitura do desenho.

A interpretação da inscrição como a representação de um circuito elétrico requer que o leitor realize um processo de translação entre a palavra “circuito”, que aparece no texto verbal da legenda, as representações de fios condutores e elementos de circuitos elétricos, que aparecem na inscrição, e os estudos sobre os circuitos elétricos realizados no capítulo 1 do livro. No capítulo 1, o leitor foi apresentado à representação usada no desenho para os elementos de um circuito elétrico.

No primeiro movimento que o leitor é orientado a fazer do texto verbal para a inscrição não há um direcionamento para elementos específicos do desenho. Isso é feito em seguida, quando o texto passa a descrever os elementos da fotocélula, que é caracterizada como um tubo de vidro evacuado, com dois eletrodos em seu interior. Com essa descrição, os autores guiam o olhar do leitor, de modo que ele perceba elementos muito particulares do desenho. As réplicas dos signos (E) e (C), que aparecem tanto no texto verbal, quanto na inscrição, ajudam o leitor a realizar essa tarefa. Para associar corretamente as estruturas representadas no desenho às palavras emissor e coletor, os autores empregam o recurso da proximidade da letra E com a estrutura semelhante a uma placa curva e, da letra C com o ponto preto que aparece próximo a ela. A proximidade é um recurso do modo visual que é utilizada para indicar associação entre dois ou mais elementos. Esse mesmo recurso é empregado pelos autores para que o leitor possa associar a palavra “Fotocélula”, que

aparece no desenho, à estrutura formada por um círculo grande com os eletrodos em seu interior e a palavra “Luz” à área amarela que se encontra em frente à lanterna.

A descrição do texto verbal afirma, ainda, que o emissor é um eletrodo negativo e o coletor é um eletrodo positivo. Para associar corretamente o tipo de carga ao eletrodo, o leitor precisará realizar um trabalho semiótico, envolvendo vários processos de translação, entre signos do circuito elétrico, da fotocélula e do texto verbal. No desenho do circuito, três segmentos de reta unem o pólo negativo da fonte ao emissor, o mesmo ocorrendo no caso da ligação entre o pólo positivo e o coletor. O processo de translação realizado com o auxílio desses segmentos de reta permite ao leitor identificar o emissor como um eletrodo negativo e o coletor como um eletrodo positivo. Naturalmente, esta associação depende de uma base de conhecimentos compartilhados. Nesse caso, especificamente, essa base foi construída no capítulo 1 quando o estudante teve contato com o estudo dos circuitos elétricos. Aliás, os autores concebem o leitor como um indivíduo que possui uma base bem fundamentada de conhecimentos compartilhados a respeito dos elementos e instrumentos representados em circuitos elétricos. Tal afirmação é baseada no fato de que os autores, em momento algum do texto, se preocupam em tratar das funções e das formas de ligação dos elementos amperímetro, voltímetro, fonte de tensão e resistor variável, representados por símbolos no circuito da “Figura 6.7”.

A associação entre emissor e eletrodo negativo ou entre coletor e eletrodo positivo também emerge das translações entre os signos que compõem a camada da inscrição destinada à representação da fotocélula. Duas bolinhas pequenas com traços (sinais negativos) em seu interior são utilizadas para representar elétrons. Setas sinalizam um movimento para essas bolinhas-elétrons indicando que elas saíram do emissor e que se dirigem ao coletor. As translações entre os signos utilizados para representar os elétrons, o emissor e o coletor na camada fotocélula, juntam-se à afirmação encontrada no texto verbal sobre a carga dos eletrodos designados como emissor e coletor e às translações entre os signos que representam esses eletrodos e os pólos da fonte de tensão.

Após discorrer sobre os elementos que compõem a fotocélula, o texto passa à descrição dos processos em que estão envolvidos os elementos representados na inscrição. Essa descrição tem início na terceira frase do terceiro parágrafo e leva o leitor a realizar, mentalmente, modificações nos signos presentes no desenho mostrado na “Figura 6.7”.

Essa descrição trata de processos que se desenvolvem no tempo, onde um evento ocorre após o outro. No entanto, o desenho ao qual o texto faz referência é estático e, portanto, todos os elementos já se encontram impressos na folha de papel: a fotocélula, os elétrons que parecem sair do emissor, os elementos do circuito, a lanterna que parece emitir luz. Para guiar o olhar do leitor, de modo que ele perceba essa sucessão de eventos, os autores se valem do texto verbal descritivo.

A terceira frase do terceiro parágrafo leva o leitor a realizar processos de translação entre os signos **luz**, **elétrons** e **amperímetro** que aparecem na inscrição. A construção desses signos, por sua vez, demanda também outros processos de translação. Assim, a construção do signo **luz** é realizada mediante processos de translação entre a palavra “Luz”, o desenho icônico da lanterna e a área amarela (veja a figura 3.2 na página 73). A área amarela possui uma cor mais forte próxima à lanterna e mais fraca perto da fotocélula. Além disso, as bordas dessa área possuem setas. Esses dois recursos associam a área amarela à ideia de que algo sai da lanterna e se propaga em direção à fotocélula. O uso do desenho icônico da lanterna e da palavra “Luz” próxima a essa área ajudam o leitor a ver essa área como uma representação da luz que sai da lanterna e incide sobre a fotocélula.

Associar os conjuntos formados por bolinhas, tracinhos e setas ao signo **elétron** depende da base de conhecimentos compartilhados do leitor. Em capítulos anteriores do livro, os autores associam explicitamente a representação de uma bolinha com um tracinho dentro e ligada a uma seta, com a ideia de um elétron em movimento. O leitor precisa mobilizar esse conhecimento prévio para interpretar o signo usado para fazer referência aos elétrons. O mesmo se pode dizer no caso do signo **amperímetro**. O símbolo usado para representar o amperímetro (um círculo com a letra A em seu interior), muito comum na representação esquemática de circuitos elétricos, aparece associado à palavra amperímetro, bem como às propriedades desse aparelho, no capítulo 1 do livro.

Após a percepção desses elementos como signos, o leitor passará a realizar translações entre eles, de modo a compreender os processos envolvidos na ocorrência do EF. Evidentemente, essa compreensão não pode ser construída sem o texto verbal.

O texto verbal da terceira frase do terceiro parágrafo diz o seguinte: “Quando o conjunto fotocélula é colocado no escuro, o amperímetro indica zero; não há corrente no circuito.”. Por meio desse texto os autores levam o leitor a operar, mentalmente, uma mudança na inscrição da “Figura 6.7”. A nova inscrição a ser produzida mentalmente deve ser semelhante à mostrada na figura 3.4, ao lado.

Um processo de translação entre o texto verbal e o signo luz leva o leitor a imaginar a inscrição sem a luz que incide sobre a fotocélula. Os processos de

translação entre o texto, os elétrons e o amperímetro levam o leitor a compreender que o amperímetro não deveria indicar corrente, nessas circunstâncias, porque não há luz incidente e, por isso, não pode haver elétrons sendo emitidos a partir do emissor. Desse modo, são processos de pré-identificação, transposição e translação entre todos esses

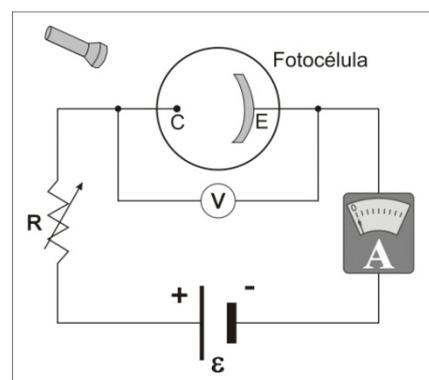


Figura 3.4 – Inscrição mental elaborada pelo leitor ao interpretar o texto da página 257 do livro Física Ciência e Tecnologia.

elementos (luz, elétrons, amperímetro e texto verbal) que permitem ao leitor compreender que sem luz não há leitura no amperímetro, não havendo, pois, o EF.

Note que foi necessário que os autores utilizassem o texto verbal para dizer que o “amperímetro indica zero”. Essa necessidade surge porque, na “Figura 6.7”, o amperímetro foi representado como um símbolo. Esse símbolo não oferece recursos que possam funcionar como um indicador de corrente elétrica e o leitor deve produzir uma imagem mental de um amperímetro e sua indicação.

O restante do texto (as duas outras frases do terceiro parágrafo) faz um movimento oposto, no sentido de que o leitor perceba a inscrição exatamente como ela se apresenta na “Figura 6.7”. Agora, processos de translação entre os signos luz, elétrons e amperímetro podem permitir ao leitor compreender que a incidência de luz faz com que elétrons sejam arrancados do emissor e se desloquem na direção do coletor. Compreender o movimento dos elétrons do emissor para o coletor demanda, ainda, processos de translação entre o texto verbal, a representação dos elétrons em movimento e a fonte de tensão presente no circuito (desde a fonte, elétrons se movem do pólo negativo para o positivo).

A análise que efetuamos sobre este trecho do livro nos permite perceber quão sofisticado é o trabalho semiótico que o leitor precisa realizar para compreender como ocorre o EF a partir dos modos verbais e não-verbais presentes no texto. Parte desse trabalho poderia ser reduzido se os autores tivessem inserido, no livro, uma inscrição semelhante à mostrada na figura 3.4, mostrada na página anterior. Em vez de criar mentalmente uma inscrição e operar sobre ela, o leitor teria à sua disposição os sinais impressos, sobre os quais estabeleceria os processos de leitura e interpretação mencionados.

A escolha, feita pelos autores, por utilizar um desenho esquemático associado a um texto verbal descritivo nos parece bastante adequada. Do ponto de vista interpessoal, a utilização do texto descritivo indica que os autores concebem o leitor como um indivíduo que desconhece os elementos que compõem o aparato utilizado no estudo do efeito fotoelétrico, bem como os processos nos quais estes elementos estão envolvidos.

Em um primeiro momento, a intenção retórica de guiar o olhar do leitor incide sobre os elementos que compõem o aparato e, posteriormente, sobre os processos que supomos ocorrer com os referentes extraídos do mundo das teorias e conceitos. Os processos relativos ao estudo do EF envolvem entidades que não podem ser diretamente observadas: os elétrons. Com a utilização do desenho, passa a ser possível associar essas entidades a imagens que podem ajudar o leitor a compreender a definição apresentada no primeiro parágrafo do texto (efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons pela incidência de luz).

Essa orquestração particular dos modos verbal e visual contribui para uma coerência textual multimodal parcial nesse segmento do texto. Assim, verifica-se que, tanto o texto

verbal, quanto o desenho esquemático apresentam uma função retórica de guiar o olhar do leitor e são orquestrados a partir dessa função. Há, no entanto, alguns pontos a serem considerados.

Há um problema de coesão no terceiro parágrafo. No início do parágrafo, os autores descrevem a estrutura da fotocélula como sendo composta pelos eletrodos emissor (E) e coletor (C) e, no final do mesmo parágrafo, utilizam as expressões placa (E) e placa (C) para fazer referência a esses eletrodos. Embora pareça sutil, a referência ao coletor como uma placa não encontra nenhuma sustentação na inscrição utilizada na representação do aparato. A análise da inscrição mostra que o coletor é representado como um ponto. O descuido pode dificultar a compreensão do texto que descreve o aparato em questão.

Outro problema encontrado nesse parágrafo diz respeito a uma falta de coerência entre o texto verbal dos parágrafos 4 a 6 e a inscrição descrita no parágrafo 3. Note o leitor dessa dissertação a presença da representação de um resistor variável no lado esquerdo da “Figura 6.7” (estrutura em ziguezague com uma seta e a letra R do lado). Para a compreensão do aparato usado no estudo do EF e dos processos associados a esse efeito, esse dispositivo, destinado a variação da resistência, não tem nenhuma importância. Todavia, para a compreensão dos textos dos parágrafos quatro a seis a presença de outro elemento variável seria fundamental: a fonte de tensão que aparece no circuito. A configuração mostrada na figura “Figura 6.7” com uma fonte de tensão fixa e um resistor variável não permite controlar a tensão entre emissor e coletor, do modo necessário à compreensão do conceito de potencial de freamento que é apresentado nos parágrafos quatro a seis.

O quarto, quinto e sexto parágrafos do texto também desempenham a função retórica de guiar o olhar do leitor. As sequências descritivas desses parágrafos referem-se a um gráfico cartesiano que associa três importantes parâmetros que compõem a compreensão teórica do EF. A descrição contida nessa sequência de textos culmina na apresentação de uma definição, ao final do sexto parágrafo: o conceito de potencial de freamento ou de corte. A figura 3.5, apresentada na próxima página, mostra uma reprodução desse trecho do livro. O parágrafo sete, que será analisado em seguida, foi reproduzido nessa figura, visto que os signos que aparecem no texto desse parágrafo também aparecem no gráfico e indicam certa conexão com o mesmo. Nossa opção por analisar esse parágrafo em separado deve-se ao fato de que nós o associamos a outra função retórica, como será mostrado na continuidade da análise.

Os textos do quarto, quinto e sexto parágrafos visam guiar a atenção do leitor durante a leitura do gráfico da “Figura 6.8”. A associação do texto verbal com o gráfico é explicitamente realizada mediante o índice dêitico “(Fig. 6.8)”, que remete o leitor à legenda da figura. Nesse caso, o texto verbal da legenda contribui pouco para auxiliar o leitor a

restringir as possibilidades de leitura dessa inscrição. A única informação relevante que a legenda traz nesse sentido é a de que se trata de um gráfico que representa algo a respeito de uma fotocélula.

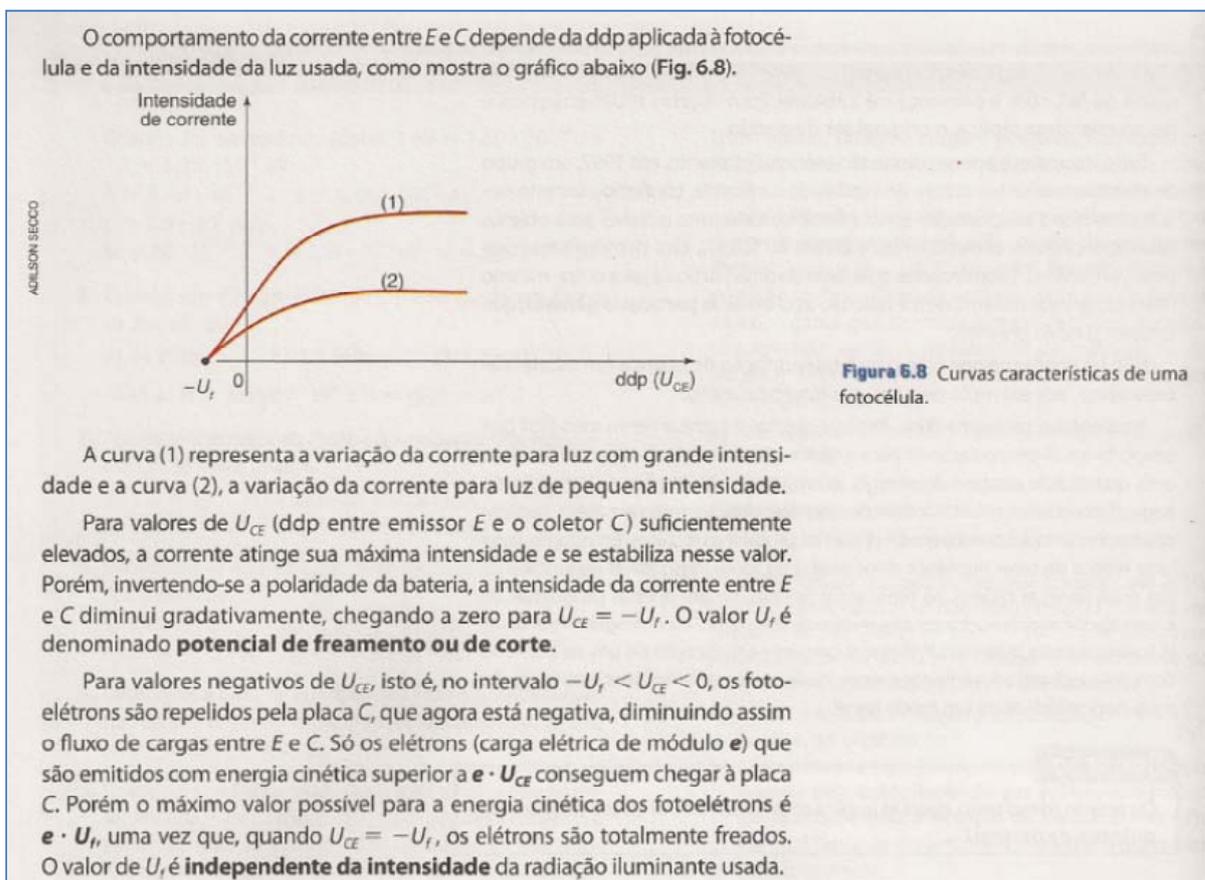


Figura 3.5 – Texto dos parágrafos 4 a 7 da seção sobre o EF, do livro Física Ciência e Tecnologia (p. 258).

Esse texto requer que o leitor articule os gráficos da “Figura 6.8” (dois gráficos que compartilham o mesmo par de eixos ortogonais) com os elementos da inscrição da “Figura 6.7” (inserida na página anterior do livro, junto ao terceiro parágrafo). Os autores, no entanto, auxiliam pouco o leitor a orquestrar esses dois tipos de inscrição (desenho esquemático-icônico e gráficos cartesianos). Assim, por exemplo, durante a descrição do desenho esquemático-icônico, realizada no parágrafo três, os signos da fonte de tensão fixa e do resistor variável, cuja inadequação já apontamos em parágrafos anteriores, não são mencionados. Isto porque, naquele momento, eles não se apresentavam como necessários, isto é, não tinham papel fundamental na compreensão daquele primeiro modo de conceber o EF. No entanto, na compreensão dos parágrafos quatro a sete, a referência a uma fonte de tensão variável teria grande importância, mas, novamente, não há menção a esse elemento no texto verbal. Essa falta de coesão multimodal entre os textos e as inscrições que compõem os parágrafos três a sete aumenta em muito o trabalho semiótico a ser realizado pelo leitor.

Os parágrafos quatro e cinco servem para restringir as possibilidades de leitura dos gráficos cartesianos. Os textos desses dois parágrafos guiam o olhar do leitor, de modo que ele procure nos gráficos da “Figura 6.8” por representações do comportamento da corrente elétrica, indicada pelo amperímetro do circuito da “Figura 6.7”, em função da tensão aplicada aos eletrodos emissor e coletor e da intensidade da luz que incide sobre o emissor. Isso demanda que o leitor realize vários movimentos de ir e vir entre o texto verbal e os gráficos, de modo a perceber réplicas dos signos presentes no texto, que se encontram também presentes nos gráficos cartesianos. Os signos *corrente*, *ddp*, (1) e (2) cumprem essa função dêitica.

É por meio dos movimentos de transposição realizados a partir dos três signos acima mencionados que o leitor vai construir a ideia de que cada um dos gráficos relaciona a corrente com a tensão aplicada aos terminais E e C para uma determinada intensidade da luz que incide na fotocélula. A interpretação dos gráficos depende fortemente do parágrafo seis, porém, nenhuma menção explícita é feita aos gráficos naquele parágrafo. O leitor deve fazer a associação entre o parágrafo seis e os gráficos pelo reconhecimento de signos semelhantes que aparecem tanto no texto verbal do sexto parágrafo quanto nos gráficos.

No início do quarto parágrafo lê-se: “O comportamento da corrente entre E e C depende da ddp aplicada à fotocélula e da intensidade da luz usada...”. Ao mencionar a fotocélula, nesse segmento de texto, os autores sinalizam para o leitor que há uma relação entre o texto e a inscrição da “Figura 6.7”. Mas esta é a única sinalização feita pelos autores. As demais associações devem ocorrer por conta do leitor.

De início, o leitor precisa recobrar de seus estudos anteriores sobre circuitos elétricos que **ddp** é uma forma abreviada para **diferença de potencial**. A ddp mencionada no texto corresponde à tensão elétrica que é estabelecida entre o coletor e o emissor pela bateria.

O gráfico mostra a variação da corrente em função da variação da ddp aplicada às placas. Como já mencionamos anteriormente, para que a ddp entre as placas possa variar, uma fonte de tensão variável é requerida e deveria ser mostrada no lugar da fonte fixa que aparece na “Figura 6.7”. Isso representa tanto uma falta de coerência quanto de coesão multimodal. Afinal, o gráfico da “Figura 6.8” não pode ser obtido a partir da montagem mostrada na “Figura 6.7” e nenhum outro aparato foi apresentado ao leitor. Além disso, o leitor precisa considerar que é o voltímetro mostrado na “Figura 6.7” que fornece as leituras de tensão que estão representadas no eixo x dos gráficos representados na “Figura 6.8”. Essas operações ficam todas por conta do leitor. Se o leitor não as realiza é pouco provável que ele perceba o gráfico como algo que emerge da realização do experimento em que se utiliza uma montagem experimental similar àquela apresentada na “Figura 6.7”.

O texto do sexto parágrafo continua na descrição das características do gráfico. Porém, diferentemente dos parágrafos quatro e cinco, o sexto parágrafo trata

especificamente das relações entre as grandezas e introduz demandas para novas operações de pensamento a serem realizadas a partir da inscrição da “Figura 6.7”. Novamente, o texto não apresenta recursos ou orientações para a realização dessas novas operações, que ficam por conta do leitor.

Já na primeira frase desse parágrafo, um novo signo aparece (U_{CE}). Nesse caso, os autores apresentam no texto verbal qual é o referente desse novo signo. Uma réplica desse signo também aparece em um ponto específico da grandeza representada ao longo do eixo \mathcal{X} do gráfico (cf. na figura 3.5, na página 82). Por meio da primeira frase do parágrafo, os autores orientam o leitor a perceber o lado direito do gráfico, que mostra valores elevados para a ddp entre os eletrodos. Além disso, o texto afirma que a corrente se mantém constante quando a ddp aumenta a partir de certo valor. Para entender esse segmento do texto, o leitor deve olhar para os pontos de inflexão situados em cada curva, a partir dos quais a corrente se mantém constante, apesar da ddp variar.

A segunda frase requer um maior trabalho do leitor. Essa frase se inicia do seguinte modo: “Porém, invertendo-se a polaridade da bateria, a intensidade da corrente entre E e C diminui gradativamente...”. A compreensão de tal afirmação requer que o leitor manipule mentalmente a inscrição da “Figura 6.7” e imagine a inversão dos polos da fonte de tensão ali apresentada. Além disso, pela redação do texto, tem-se a impressão de que basta inverter a polaridade da bateria que a corrente diminui gradativamente. Na verdade, essa redução gradativa da corrente é realizada por meio do controle da ddp por uma fonte de tensão variável. Mais uma vez a ausência da fonte variável na descrição do aparato destinado ao estudo do EF se torna um dificultador para a compreensão do texto. Se esse aparato estivesse no desenho da “Figura 6.7” ou fosse apresentado em uma nova versão do aparato, os autores poderiam se referir adequadamente ao circuito necessário à construção dos gráficos de que se ocupam os parágrafos quatro a sete.

A compreensão da segunda frase requer, ainda, que o leitor direcione o olhar para o lado esquerdo dos gráficos, em que o valor da ddp está se tornando mais negativa e aumentando em termos de módulo. Acompanhando as duas curvas, o leitor percebe que elas terminam em um ponto particular, identificado no gráfico pelo signo U_f . O valor de U_f é definido no texto verbal, no final do sexto parágrafo. Por meio dessa definição o leitor deve compreender que “potencial de freamento ou de corte” é a forma pela qual se denomina o valor da ddp no qual a corrente entre o emissor e o coletor se anula.

Além de ser importante para a leitura do gráfico, o sexto parágrafo também apresenta um conjunto de constatações que justificam a explicação desenvolvida no sétimo parágrafo. O texto do sétimo parágrafo, no entanto, se ocupa em explicar apenas a segunda constatação (referente aos valores negativos da ddp entre os eletrodos). A primeira parte

não é desenvolvida pelos autores (a estabilização da corrente para valores positivos da ddp).

O texto explicativo do sétimo parágrafo cumpre a função de apresentar ao leitor possíveis causas para a redução da corrente quando a ddp entre os eletrodos torna-se negativa. A função retórica que associamos aos textos explicativos é a de compartilhar com o leitor uma forma de compreensão. Os autores concebem o leitor como um indivíduo que desconhece as razões pelas quais a corrente entre os eletrodos diminui com a inversão dos pólos da fonte de tensão. Deste modo, passam a fornecer as explicações para essa constatação.

A primeira frase do parágrafo sete faz com que o leitor se volte tanto para o gráfico da “Figura 6.8”, com o olhar direcionado para os valores negativos de U_{CE} , quanto para a inscrição da “Figura 6.7” que, todavia, precisa ser transformada em sua mente, mediante a introdução de um elemento que ela não contém: a fonte de tensão variável. O leitor precisa associar o quadrante negativo dos gráficos a uma configuração do circuito na qual a polaridade dos eletrodos deve estar invertida em relação à situação ilustrada na “Figura 6.7”. A polaridade invertida, ou, dito de outro modo, o campo elétrico em sentido oposto, seria, então, a razão para a dificuldade de deslocamento dos elétrons entre os dois eletrodos. Porém, como o gráfico mostra que a corrente não vai a zero imediatamente, os autores precisam continuar a explicação.

Na continuação da explicação uma nova informação, que envolve o cálculo da energia cinética dos elétrons é acrescentada. Desde que a energia cinética do elétron tenha certo valor (superior a $e \cdot U_{CE}$) esse elétron conseguirá chegar ao outro eletrodo. Para compreender essa informação o leitor precisa fazer três movimentos. O primeiro é a associação de uma energia cinética aos elétrons em movimento entre os eletrodos da fotocélula. O segundo é a retomada do capítulo 1 do livro, em que se definiu que a energia potencial elétrica é dada pelo produto da carga pelo potencial. Esse segundo movimento é necessário à compreensão da expressão $e \cdot U_{CE}$, apresentada junto ao texto verbal principal. O terceiro movimento é o de relacionar a energia potencial elétrica à energia cinética.

Esses três movimentos constituem um processo bastante sofisticado de elaboração teórica. A frase “Só os elétrons ... emitidos com energia cinética superior a $e \cdot U_{CE}$ conseguem chegar à placa C” deve ser interpretada pelo leitor como algo semelhante à seguinte afirmação: o elétron é emitido de um dos eletrodos da fotocélula mostrada na “Figura 6.7” com certa velocidade e, portanto, com certa energia cinética. Entre os eletrodos existe um campo elétrico estabelecido pela bateria. Em função de estar se movendo no mesmo sentido do campo elétrico, o elétron perde parte de sua energia cinética que se transforma em energia potencial elétrica. Se a energia cinética do elétron for maior que a energia potencial associada ao produto da carga do elétron pelo potencial existente entre os

eletrodos, ele consegue atravessar o espaço existente entre os mesmos e provocar um fluxo de cargas no circuito que será acusado pelo amperímetro.

A opção por utilizar expressões matemáticas nesse sétimo parágrafo, tanto para denotar a energia cinética dos elétrons ($e \cdot U_{CE}$), quanto para denotar o intervalo de valores negativos da ddp entre coletor e emissor ($-U_f < U_{CE} < 0$) parece contribuir para a falta de coerência e de coesão do texto, quando pensamos na coesão e na coerência vistas a partir de um leitor com conhecimentos medianos de Física. Se o leitor não consegue extrair as informações contidas nas expressões, o segmento de texto no qual elas estão inseridas se torna incompreensível e, no caso da inequação, não permite o estabelecimento da relação entre o texto e o trecho do gráfico. Um texto verbal, que explicitasse as relações contidas nas expressões algébricas nos parece mais adequado nesse caso, uma vez que o fenômeno da especialização funcional não torna estritamente necessário a utilização da inequação no lugar do texto verbal.

Por fim, a última frase do sétimo parágrafo apresenta uma constatação importante: “O valor de U_f é **independente da intensidade** da radiação iluminante usada”. Essa informação é uma expressão verbal daquilo que se pode deduzir por meio da comparação entre os dois gráficos que compartilham o mesmo par de eixos ortogonais. Cada gráfico está associado a uma intensidade de radiação diferente, mas os dois gráficos convergem quando a ddp entre os eletrodos se aproxima do valor U_f . Ao explicitar essa independência, os autores sinalizam para o leitor que essa informação é importante. Mais uma vez, no entanto, o texto não orienta, explicitamente, a leitura dos gráficos, de modo que a informação expressa no modo verbal torne-se redundante àquela que pode ser obtida por meio da leitura do modo não-verbal. Isso contribuiria para a orquestração do texto verbal com o gráfico cartesiano que, novamente, ficou por conta do leitor.

Os parágrafos oito a treze fazem parte de outra sequência explicativa. Essa sequência pode ser dividida em uma fase de constatações iniciais de fenômenos, que justifica a explicação propriamente dita, seguida de uma fase de desenvolvimento da explicação, na qual são fornecidas as causas que dão um caráter de necessidade lógica às constatações iniciais. As relações causais, uma vez estabelecidas, levam à crença de que aquilo que está descrito nas constatações precisa ocorrer daquela maneira ou não pode ocorrer de outra maneira. Uma diversidade de modos é empregada pelos autores nessa sequência explicativa. Veja na reprodução do trecho na figura 3.6, na próxima página.

O texto do parágrafo oito apresenta três constatações a respeito do efeito fotoelétrico que não puderam ser explicadas pela física clássica. Os autores não se preocuparam em apresentar essas constatações como resultados dos experimentos realizados com a montagem mostrada na “Figura 6.7”. Deste modo, o parágrafo oito parece realizar uma ruptura com o texto apresentado nos parágrafos anteriores. Há diversos elementos que

poderiam ter sido mais bem explorados no sentido de fazer essa aproximação, de modo a aumentar a coesão e a coerência textual.

A Física Clássica e a teoria ondulatória da luz falham ao tentarem explicar certas características do efeito fotoelétrico. Por exemplo:

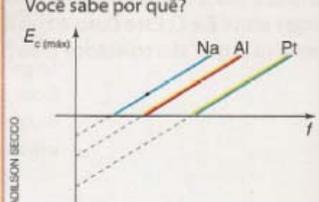
1. Nenhum fotoelétron será observado se a radiação iluminante tiver uma frequência inferior a um certo valor, característico do material iluminado, denominado **frequência de corte** (f_0).
2. Se a frequência da radiação iluminante excede a frequência de corte, observa-se que o número de fotoelétrons emitidos é proporcional à intensidade da radiação incidente, porém nenhum elétron terá energia cinética superior a $e \cdot U_f$, isto é, $E_{c(máx)} = e \cdot U_f$.
3. A energia cinética máxima dos fotoelétrons aumenta, se aumentarmos a **frequência** da radiação iluminante.

A explicação correta para o efeito fotoelétrico foi dada por **Albert Einstein** (1879-1955), em 1905, mesmo ano da publicação da teoria especial da relatividade. Como parte de uma publicação sobre radiação eletromagnética, que lhe valeu o Prêmio Nobel em 1921, Einstein estendeu o conceito da **quantização da energia**, de Planck, para as ondas eletromagnéticas em geral. Admitiu que a luz e as demais radiações eletromagnéticas deveriam ser consideradas como um feixe de **pacotes de energia**, cada um transportando uma quantidade de energia igual a $h \cdot f$. Como vimos no início deste capítulo, esses pacotes de energia são os chamados fótons de Gilbert Lewis.

Na visão de Einstein, cada fóton cede toda sua energia $h \cdot f$ a um único elétron do metal. Parte dessa energia é usada para “desligar” o elétron do seu átomo — energia de ligação. A essa parcela de energia ele denominou **função trabalho** do material, que representaremos por W . O restante

Você sabe por quê?

Ao representarmos graficamente o comportamento fotoelétrico de diversos metais, as retas obtidas serão todas **paralelas** entre si, saindo de pontos diferentes do eixo horizontal (veja a figura abaixo). Você sabe por quê?



da energia do fóton incidente aparecerá na forma de energia cinética do fotoelétron (Fig. 6.9). Assim:

$$E_{c(máx)} = h \cdot f - W$$

Lembrando que $E_{c(máx)} = e \cdot U_f$, temos:

$$e \cdot U_f = h \cdot f - W$$

Esta fórmula constitui a **equação de Einstein** para o efeito fotoelétrico. Como h e e são constantes universais e W uma constante específica do material usado como emissor, vemos que U_f é uma **função do 1º grau** da frequência f da radiação iluminante (Fig. 6.10).

O trecho pontilhado do gráfico representa o intervalo de frequências para o qual não ocorre fotoemissão. O valor f_0 , denominado **frequência de corte**, mostra que, para que haja emissão de elétrons, os fótons devem ter no mínimo energia $h \cdot f_0$. O valor $h \cdot f_0$ é exatamente a função trabalho W do material usado como emissor.

A tabela mostra valores de W para metais usuais.

Metal	W (eV)	Metal	W (eV)
Sódio (Na)	2,28	Prata (Ag)	4,73
Alumínio (Al)	4,08	Platina (Pt)	6,35
Cobre (Cu)	4,70	Chumbo (Pb)	4,14
Zinco (Zn)	4,31	Ferro (Fe)	4,50

Fonte: SERWAY, R.; MOSES, C.; MOYER, C. *Modern Physics*. Springfield: Saunders College Publishing, 1997.

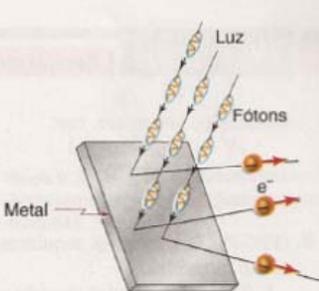


Figura 6.9 Representação esquemática da emissão fotoelétrica. (Representação sem escala, uso de cores-fantasia.)

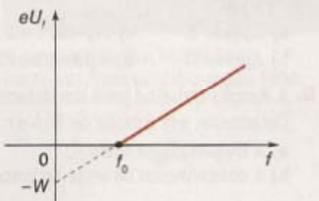


Figura 6.10 Gráfico da energia cinética máxima dos fotoelétrons em função da frequência da radiação incidente.

Figura 3.6 – Texto dos parágrafos 8 a 14 da seção sobre o EF, do livro Física Ciência e Tecnologia (pp. 258-259).

A terceira constatação é uma informação completamente nova. A primeira constatação, todavia, poderia ter sido relacionada ao texto do terceiro parágrafo. Aquele texto diz: "... quando uma radiação monocromática de determinado comprimento de onda ilumina a placa ...". Nessa frase está contida a idéia de que não é qualquer luz que produz o EF. O EF só ocorre se a luz tiver uma frequência mínima, definida na primeira constatação apresentada no parágrafo oito como "**frequência de corte** (f_0)". Essa noção é central na compreensão do EF e será utilizada pelos autores em momentos posteriores.

A segunda constatação contém duas informações diferentes. A primeira delas está relacionada com a informação apresentada na primeira constatação. A segunda segue relacionada a informações apresentadas no gráfico cartesiano e no texto verbal dos parágrafos seis e sete. Novamente, os autores fazem uso de uma expressão matemática para relacionar a energia cinética ao potencial entre as placas. Como já mostramos, essa equação condensa todo um conjunto complexo de relações que precisam ser compreendidas pelo leitor. Em nossa avaliação, não há um suporte adequado que permita ao leitor realizar todos os movimentos necessários para identificar a equação com as relações que ela estabelece. Note o leitor desta dissertação que não estamos nos opondo ao uso de expressões matemáticas. Muito pelo contrário, acreditamos que esse é um modo bastante útil e necessário nas ciências. O que procuramos evidenciar é a necessidade de fornecer um suporte aos leitores não iniciados de modo a auxiliá-los na compreensão do amplo conjunto de relações que uma expressão matemática encerra em si.

No nono parágrafo, os autores apresentam causas que explicam as constatações levantadas, por eles, no parágrafo anterior. O início do parágrafo faz uma referência à história do desenvolvimento do EF. Esse resgate da história atribui a Einstein a explicação correta para o EF, bem como afirma que tal explicação é uma extensão da hipótese da quantização da energia, proposta por Planck. Essa referência sugere um movimento de intertextualidade que o leitor poderia fazer ao resgatar o conteúdo de uma seção anterior do mesmo capítulo, denominada "A radiação dos corpos e a teoria quântica de Planck". Naquela seção é introduzida a equação que expressa a dualidade entre a energia das "partículas" ou quanta de luz e a frequência da onda luminosa. Tal equação é retomada nesse nono parágrafo quando se diz que a quantidade de energia transportada em cada pacote é igual a $h \cdot f$. Contudo, tanto lá, quanto cá, essa equação aparece apenas como uma forma de calcular a energia das "partículas". A questão da dualidade e o significado da expressão $E=h \cdot f$ serão discutidos apenas na seção 6 do livro, intitulada "A dualidade onda-partícula", muito posterior às seções dois e três, em que a equação aparece inicialmente. Essa opção dos autores parece indicar uma exploração insuficiente dos aspectos ontológicos e fenomenológicos que subjazem aos fundamentos da mecânica quântica.

O texto do parágrafo dez é constituído por uma continuidade da explicação apresentada no parágrafo nove, seguida de uma definição e da antecipação da relação entre a energia cinética do fotoelétron, a energia que o mesmo absorve do fóton e a energia necessária à retirada desse elétron do material, que é apresentada, em seguida, por meio de uma expressão matemática (cf. a figura 3.6 na página 87). Por meio da definição os autores condensam um conjunto de informações sob a expressão “**função trabalho**”. Por meio da explicação os autores relacionam essa nova entidade à energia do fóton (introduzida nos parágrafos nove e dez) e à energia cinética do elétron (introduzida nos parágrafos sete e oito). Por meio de um índice “(Fig. 6.9)” os autores remetem o leitor à “Figura 6.9” que, de acordo com a estrutura do texto, deve ilustrar o processo de emissão dos fotoelétrons.

Antes de tratarmos da “Figura 6.9” do texto, falaremos brevemente sobre um quadro que aparece ao lado dos parágrafos nove e dez. Não há menção alguma a esse quadro no texto, o que parece indicar que os autores não atribuem grande importância a ele. A discussão que queremos fazer, contudo, não se resume a isso. Nosso interesse é sobre a coesão. A resposta à questão colocada no quadro só é possível após a leitura e compreensão de todo o texto. No entanto, como ele foi inserido no final da página 258, muito provavelmente o leitor se dirigirá a ele ao ler os parágrafos nove e dez. Isso contribui para uma quebra da coesão textual. Este tipo de intervenção fará com que o leitor deixe o texto verbal e vá ao quadro para lê-lo. Não sabendo a resposta da questão o leitor volta para o texto e passa a buscar uma forma de respondê-la. Assim, o leitor perde o foco da leitura. A inserção desse quadro deveria ter sido feita após o gráfico da “Figura 6.10”, na outra página do texto do livro. Voltaremos a esse ponto mais adiante, quando analisarmos a tabela da página 259.

Retomando a continuidade do texto, a “Figura 6.9”, que pode ser vista na figura 3.6 da página 87, é composta por um desenho icônico de uma placa, por desenhos esquemáticos de elipses com ondinhas em seu interior, por bolinhas com um tracinho em seu interior, por linhas que indicam a direção de movimento das elipses e das bolinhas e por setas que indicam o sentido do movimento desses objetos. Além disso, podem ser percebidas nessa inscrição os signos verbais Luz, Fótons, Metal e e^- . As legendas interna e externa dessa figura, juntamente com o texto verbal, buscam restringir as possibilidades de leitura. Pelo recurso da proximidade, os autores sugerem que o leitor associe as representações a determinadas entidades que participam do EF. As elipses com ondinhas no interior, por exemplo, representam fótons. Translações entre as representações de fótons, as setas, as retas, a palavra Luz e o texto verbal do nono parágrafo (“... a luz e as demais radiações eletromagnéticas deveriam ser consideradas como um feixe de **pacotes de energia** ... chamados fótons ...) permitem que o leitor veja estas entidades como

constituintes da luz que incide sobre a placa. Assim um feixe de luz, que na “Figura 6.7” era uma área amarela, contínua, aqui adquire outra característica e passa a ser formado por “partículas”.

Já vimos que as bolinhas com tracinho e seta representam elétrons em movimento. Translações entre as retas ligadas aos fótons, as retas ligadas aos elétrons e o texto verbal do décimo parágrafo (“... cada fóton cede toda sua energia $h \cdot f$ a um único elétron do metal”) ajudam o leitor a compreender que os fótons fornecem energia para os elétrons que saem do material. Além disso, outros processos de translação permitem que o leitor compreenda que os elétrons deixam o material com velocidade v , portanto, com energia cinética.

A orquestração entre os parágrafos nove e dez e a inscrição da “Figura 6.9” auxilia o leitor na compreensão do EF. Associada a um texto explicativo, esta figura adquire características explicativas. A figura é utilizada para explicar como a ejeção de elétrons com certa energia cinética ocorre mediante a incidência de fótons de luz. Essa explicação, contudo, apresenta um caráter quantitativo que, devido ao fenômeno da especialização funcional do modo *desenho esquemático-icônico*, não pode ser adequadamente apresentada por esse último.

Por essa razão, o texto verbal dos parágrafos nove e dez não estão associados apenas à “Figura 6.9”, mas também às expressões algébricas apresentadas em seguida (veja a figura 3.6). Duas expressões distintas são apresentadas nesse trecho: $E_{C(Máx)} = h \cdot f - W$ e $E_{C(Máx)} = e \cdot U_f$. A outra expressão, $e \cdot U_f = h \cdot f - W$, resulta de um tratamento das duas primeiras reunidas em um sistema e não contém relações ainda não apresentadas no interior desse sistema. Por essa razão, computamos duas e não três expressões algébricas no trecho agora analisado.

A primeira daquelas expressões mantém relações com o texto verbal explicativo e com a inscrição da “Figura 6.9”. Os significados dos termos que compõem a inscrição foram explicados no texto verbal: $E_{C(Máx)}$ – energia cinética máxima dos elétrons ejetados; $h \cdot f$ – energia do fóton da radiação incidente; W – energia que o elétron gasta para deixar o metal. O texto verbal e a inscrição ajudam o leitor a apreender o significado do modelo teórico que a expressão matemática sintetiza: um fóton com energia $h \cdot f$ incide sobre o metal; um elétron absorve a energia desse fóton e consegue sair do metal; a diferença entre a energia fornecida pelo fóton ($h \cdot f$) e a energia gasta pelo elétron para deixar o metal (W) é a energia cinética que o fotoelétron apresentará. Nota-se, nesse caso, que diferentemente do parágrafo sete, em que os autores deixaram sob a inteira responsabilidade do leitor a construção dos significados para a expressão $E_{C(Máx)} = e \cdot U_f$, agora aparece uma orquestração entre três modos de comunicação (texto verbal, desenho esquemático-icônico e expressão algébrica) para auxiliar o leitor na compreensão do texto.

A expressão algébrica que aparece nesse segmento do texto possui um caráter geral. Isto é, ela pode ser usada para fazer previsões acerca do EF para qualquer metal (qualquer valor de W) e para qualquer frequência de luz (qualquer valor de f). Como mencionamos, partindo do tratamento de um sistema de duas expressões algébricas, os autores chegam à expressão $e \cdot U_f = h \cdot f - W$, denominada no parágrafo onze como “**equação de Einstein** para o efeito fotoelétrico”. Por meio dessa definição apresentada no parágrafo onze os autores compartilham com o leitor como tal expressão é conhecida.

Os autores, por meio do texto verbal do parágrafo doze, compartilham com o leitor uma nova forma de olhar para a **equação de Einstein**. Desta vez, o olhar é orientado no sentido de perceber uma relação matemática linear entre as grandezas representadas na expressão. Esse texto serve como foco da orquestração entre a **equação de Einstein** e o gráfico que aparece na “Figura 6.10” (veja a figura 3.6, na página 87). No texto, no gráfico e na equação aparecem os mesmos signos e o leitor tem condições de orquestrar os três modos a partir da identificação das réplicas desses signos e da translação entre os modos. O fato da relação entre as grandezas ser expressa por uma reta é um indicador de que se trata de uma relação linear (informação presente no texto verbal). Porém, no gráfico, há elementos que não aparecem no texto verbal do parágrafo doze: um ponto identificado como f_0 e uma linha pontilhada abaixo do eixo das frequências. O leitor encontrará significado para esses elementos após ler o parágrafo treze.

O texto do parágrafo treze visa ajudar o leitor a compreender que o efeito fotoelétrico ocorre apenas quando a luz que incide sobre o metal possui certa frequência, acima de um valor limite, denominado frequência de corte (mencionado no parágrafo oito do texto). Esta compreensão, portanto, demanda uma orquestração entre as sequências textuais dos parágrafos oito e treze com o gráfico da “Figura 6.10” e a **equação de Einstein**. Somente realizando essa orquestração, a informação final do parágrafo do texto verbal tem sentido para o leitor.

Os autores, contudo, não auxiliam o leitor nessa tarefa. O uso do subscrito 0, em f_0 , dificulta a associação deste termo aos elementos da **equação de Einstein**. Aquela equação tem um caráter geral. Sua aplicabilidade abrange várias situações. O valor f_0 corresponde a uma situação muito particular, que também é previsto pela equação, mas que demanda a reapresentação da equação e seu posterior tratamento, para que o leitor possa perceber que quando a frequência da luz incidente for igual à frequência de corte (f_0) a energia cinética dos elétrons será nula e a **equação de Einstein** se tornaria $h \cdot f_0 = W$. Acreditamos que esse passo é sofisticado para um leitor não iniciado e que poderia ter sido desenvolvido no próprio texto ou mediante o uso de artifícios como a apresentação de um exercício resolvido.

O final do parágrafo treze, que faz referência à função trabalho do metal usado como emissor, serve como elemento de coesão para a apresentação de uma tabela no parágrafo quatorze. A tabela apresenta uma série de valores de função trabalho para vários metais. São listados metais muito citados em aulas de Química e Física, como alumínio, cobre e ferro, por exemplo. Embora não tenhamos acessado a fonte da tabela, para saber se ela é igual à apresentada no livro, observando apenas a tabela que aparece neste texto de EF, parece haver uma preocupação dos autores em citar materiais que os estudantes possam reconhecer em suas vivências cotidianas. Deste modo, associamos àquela tabela a função retórica de estabelecer um vínculo entre uma classe de referentes (o valor da função trabalho de qualquer metal) e alguns referentes específicos, que possam ser reconhecidos no cotidiano do enunciário (valores da função trabalho de alguns metais específicos).

Esta tabela não está explicitamente integrada a nenhum outro modo de comunicação do texto. Ela parece ser usada apenas para apresentar um conjunto organizado de informações acerca da função trabalho de vários metais. Contudo, vemos que esta tabela tem uma integração com o quadro “Você sabe por quê”, apresentado no final da página 258, e com o gráfico da “Figura 6.10”.

No quadro aparece um gráfico muito semelhante ao da “Figura 6.10”, porém, com várias curvas representadas e com a grandeza $E_{C(Máx)}$ ao lado do eixo λ , em vez da grandeza $e \cdot U_f$. Os símbolos dos elementos químicos que aparecem próximos às curvas do gráfico aparecem também na tabela, associados a diferentes metais. A resposta à questão do quadro demanda uma comparação entre a posição de cada curva no gráfico e os valores de função trabalho apresentados na tabela. Naturalmente a resposta depende ainda do estabelecimento de relações entre o gráfico do quadro, o gráfico da “Figura 6.10” e a **equação de Einstein**.

O último parágrafo do texto sobre o EF desse livro faz referência a um exercício resolvido. Nesse exercício é apresentado um exemplo de aplicação da **equação de Einstein**. Veja a figura 3.7 na próxima página.

Nesse exercício os autores apresentam uma questão que, para ser respondida adequadamente, demanda uma volta ao texto verbal, onde são apresentados os conceitos fundamentais e uma manipulação das expressões algébricas. Os autores, no entanto, assumem que basta apenas uma manipulação das expressões algébricas. Na resolução do exercício não há uma discussão sobre os cálculos que são realizados. O exercício torna-se apenas um exemplo de como manipular as expressões algébricas de modo a fornecer uma resposta às questões colocadas, a partir dos dados fornecidos no enunciado do exercício.

Na próxima página encontra-se a tabela 3.2, que mostra um resumo da análise realizada ao longo desta seção. Nessa tabela são apresentados os tipos de textos, as

funções retóricas e os modos mobilizados em cada parágrafo, ou em um conjunto de parágrafos, quando é o caso, dos textos analisados.

Vejam os exemplos que seguem para entendermos melhor a equação de Einstein do efeito fotoelétrico.

Uma lâmina de sódio é "iluminada" com radiação de comprimento de onda 300 nm. A função trabalho do sódio vale 2,28 eV. Determine para o sódio:

- a frequência de corte (f_0);
- o comprimento de onda de corte (λ_0);
- a energia total dos fótons incidentes;
- o potencial de freamento (U_f), para essa radiação.

(Dados: $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$; $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

a) Na equação de Einstein do efeito fotoelétrico, quando $f = f_0$, $E_{c(\text{max})} = 0$. Então:
 $W = h \cdot f_0 \Rightarrow 2,28 = 4,14 \cdot 10^{-15} \cdot f_0 \Rightarrow f_0 = 5,50 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

b) Como $c = \lambda_0 \cdot f_0$, temos: $\lambda = \frac{c}{f_0} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{3,0 \cdot 10^8}{5,50 \cdot 10^{14}} \Rightarrow \lambda_0 = 5,45 \cdot 10^{-7} \text{ m} \Rightarrow \lambda_0 = 545 \text{ nm}$

c) A energia dos fótons é calculada por: $E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$
Então: $E = \frac{4,14 \cdot 10^{-15} \cdot 3 \cdot 10^8}{300 \cdot 10^{-9}} \Rightarrow E = 4,14 \text{ eV}$

d) Da equação de Einstein: $e \cdot U_f = E - W \Rightarrow e \cdot U_f = 4,14 \text{ eV} - 2,28 \text{ eV} \Rightarrow$
 $\Rightarrow U_f = \frac{1,86}{e} \text{ eV} = 1,86 \text{ volts}$

CAPÍTULO 6 Física Quântica • 259

Figura 3.7 – Texto do parágrafo 15 da seção sobre o EF, do livro Física Ciência e Tecnologia (p. 259).

Tabela 3.2 – Tipos de textos, funções retóricas e modos mobilizados em segmentos do texto do livro Física Ciência e Tecnologia		
Parágrafo	Tipo de texto/ Função retórica	Modos mobilizados
1	Definição / compartilhar a forma de se referir a processo e a objeto	Verbal
2	Exemplificação / estabelecer um vínculo entre uma classe de referentes e um referente específico	Verbal, fotografia
3	Descrição / guiar o olhar na percepção de objetos e processos	Verbal, desenho esquemático-icônico
4 e 5	Descrição / guiar o olhar na percepção de objetos	Verbal, gráfico cartesiano
6	Descrição / guiar o olhar na percepção de processos Definição / compartilhar forma de se referir a um processo	Verbal, gráfico cartesiano, desenho esquemático-icônico
6 e 7	Explicação / compartilhar forma de compreender	Verbal, gráfico cartesiano, desenho esquemático-icônico

8	Explicação (fase inicial) / constatação de um fenômeno	Verbal, expressão algébrica
9	Explicação / compartilhar forma de compreender	Verbal, expressão algébrica
10	Explicação / compartilhar forma de compreender Definição / compartilhar forma de se referir a um processo	Verbal, desenho esquemático-icônico, expressão algébrica
11	Definição / compartilhar forma de se referir a um objeto	Verbal, expressão algébrica
12	Descrição / guiar o olhar na percepção de objetos	Verbal, expressão algébrica, gráfico
13	Descrição / guiar o olhar na percepção de objetos e processos	Verbal, expressão algébrica, gráfico
14	Exemplificação / estabelecer um vínculo entre uma classe de referentes e alguns referentes específicos	Verbal, tabela
15	Exemplificação / estabelecer um vínculo entre uma classe de referentes e um referente específico	Verbal, expressão algébrica

3.3 – Análise do livro Física em contextos: pessoal, social e histórico de Pietrocola et al., 2010

Nesse livro, o início da seção sobre o EF é marcado visualmente pelo uso de uma fonte maior para o título. Dentro dessa seção, existem duas subseções devidamente sinalizadas para o leitor pelo uso de subtítulos, marcados pelo uso de uma fonte maior do que aquela usada no texto verbal principal e menor do que aquela usada no título da seção. Além disso, aparece, ao lado de cada subtítulo, um índice numérico, que sinaliza o pertencimento à seção sobre o efeito fotoelétrico.

O primeiro parágrafo do texto sobre o EF funciona como um elemento de ligação entre essa seção e as seções anteriores do capítulo. A lógica escolhida pelos autores para a organização desse capítulo se baseia na afirmação de que, ao longo da história, diversas concepções acerca da natureza da luz foram propostas. O EF surge como um fenômeno cuja explicação demanda considerar a luz como partícula. As várias concepções para a natureza da luz, tratadas no capítulo 12 do livro (onde se encontra o texto sobre o EF), são retomadas na seção 7, onde os autores constroem a ideia de dualidade, primeiro para a luz, depois para a matéria. Após esse primeiro parágrafo introdutório tem início a primeira subseção do capítulo. Veja a figura 3.8 na próxima página.

A subseção 6.1 se inicia com uma referência histórica acerca da observação do EF. Os segmentos de texto que aparecem no primeiro e no segundo parágrafos dessa

subseção, bem como no primeiro parágrafo da subseção 6.2, sugerem que o leitor veja esse desenvolvimento científico como um empreendimento social e histórico. Mais adiante, na seção 6.2, uma nova referência à história da observação e da explicação do EF é apresentada, tendo Albert Einstein como personagem principal.

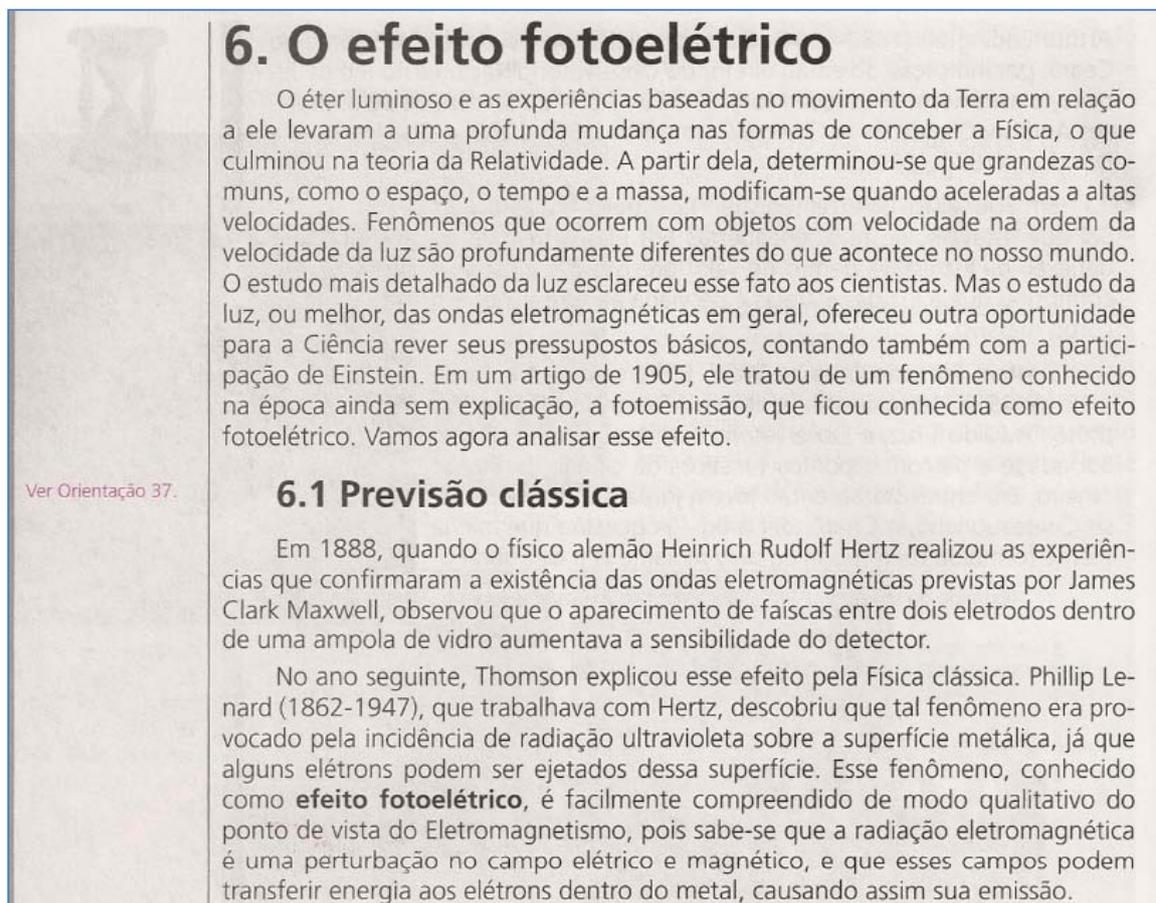


Figura 3.8 – Texto introdutório e texto dos parágrafos 1 e 2 da subseção 6.1 do livro Física em contextos (p. 376).

O final do primeiro parágrafo da subseção 6.1 e o início do segundo configuram uma sequência explicativa. Os autores desejam compartilhar com o leitor uma forma de compreender as observações de Hertz. Para isso, eles partem da constatação de um fenômeno (o aparecimento de faíscas entre os eletrodos aumentava a sensibilidade do aparelho) e fornecem a explicação para esse fenômeno (a luz ultravioleta das faíscas arrancava elétrons do eletrodo). A parte final dessa explicação é também a definição para o fenômeno. Os autores associam a expressão “efeito fotoelétrico”, marcada em negrito no texto, ao fenômeno da ejeção de elétrons pela superfície metálica quando sobre ela incide luz. Logo em seguida, uma nova explicação visa fornecer as causas para a ejeção do elétron, baseadas na física clássica. A explicação fornecida é muito sucinta, sendo, por isso, pouco provável que um leitor não iniciado consiga estabelecer as relações necessárias para compreender a explicação apresentada. Essa explicação demanda que o leitor estabeleça

relações, tanto com o estudo sobre as ondas eletromagnéticas, no capítulo oito do livro, quanto com os conteúdos dos capítulos um, dois e cinco, nos quais se afirma que um elétron pode obter energia ao interagir com um campo elétrico.

No início do terceiro parágrafo (veja a figura 3.9 abaixo) há uma pequena quebra de coesão textual verbal (nessa primeira página apenas o texto verbal é utilizado). O texto do parágrafo se inicia da seguinte maneira “Mas durante esses estudos verificaram-se ...”. Porém, não há menção à realização de estudos nos parágrafos anteriores a esse. Muito provavelmente os autores queriam fazer menção aos estudos realizados por Hertz, Lenard e Stoletov, que foram os primeiros a observar e a estudar o EF.

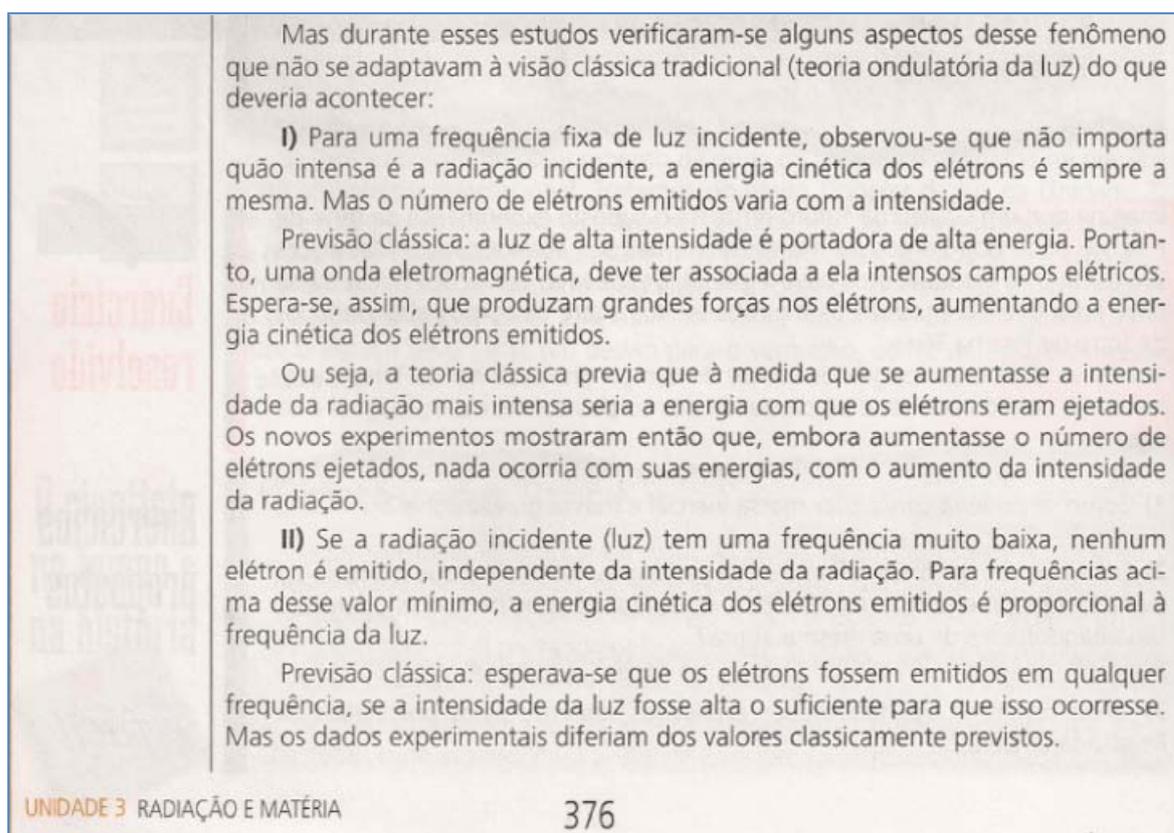


Figura 3.9 – Texto do parágrafo 3 da subseção 6.1 do livro Física em contextos (p. 378).

Todo o terceiro parágrafo pode ser considerado como a fase inicial de uma sequência explicativa, cujo desenvolvimento virá somente na subseção 6.2. Nesse parágrafo, os autores apresentam duas constatações que seriam resultados experimentais dos estudos realizados pelos cientistas mencionados nos parágrafos anteriores. Logo após a colocação dessas constatações, os autores apresentam uma problematização, que demanda um desenvolvimento posterior, já que aponta para a existência de uma incoerência entre a interpretação do EF oferecida pela Física clássica e os resultados dos experimentos destinados à investigação do efeito.

Cabe ressaltar que essas constatações introduzem uma nova grandeza: a energia cinética dos elétrons. Assim como no livro analisado anteriormente, os autores deixam como

trabalho a ser realizado pelo leitor, a produção de imagens nas quais os elétrons deixam a superfície metálica com certa energia cinética. No livro analisado na seção anterior desta dissertação (Física Ciência e Tecnologia), havia um diagrama com a imagem dos elétrons sendo ejetados da placa. Já no livro que analisamos agora (Física em Contextos), o leitor tem apenas o texto verbal como referência.

Após apresentarem as constatações e confrontá-las com as explicações fornecidas pela física clássica, os autores fazem referência a uma montagem experimental que permite estudar o EF. Para isso, utilizam o texto verbal do quarto parágrafo e uma inscrição associada a ele.

No texto verbal do quarto parágrafo está escrito o seguinte: “A relação entre as teorias clássica e quântica para a emissão de luz pode ser investigada com base no arranjo experimental ... a seguir.”. A forma como os autores redigiram o texto dessa frase produz uma quebra de coesão e de coerência. O desenho e as fotografias que constam na tabela mostram uma montagem experimental utilizada para se estudar o EF. Tem-se a impressão, ao ler aquela frase, que o EF foi elaborado para permitir uma comparação entre a forma como as teorias clássica e quântica explicam a emissão de luz (a própria palavra **relação** foi uma escolha infeliz nesse caso). Na verdade, o passo que Einstein deu para explicar as evidências fornecidas pelos experimentos sobre o EF foi um dos primeiros movimentos de criação da teoria quântica, que ainda não existia naquela época.

A frase apresentada no quarto parágrafo pode até ser coerente com a escolha dos autores em mostrar fenômenos que colocam em evidência aspectos da natureza da luz. No entanto, essa frase se mostra inconsistente, do ponto de vista da história do desenvolvimento da compreensão do EF e, portanto, incoerente com o título do livro: “Física em contextos: pessoal, social e histórico”.

O texto verbal do quarto parágrafo direciona o leitor para uma tabela que ocupa todo o restante da página. Veja a figura 3.10 na próxima página.

O título da tabela, que deveria auxiliar o leitor na compreensão do que está representado, continua mantendo a incoerência. Essa tabela mostra os equipamentos utilizados na reprodução e observação do EF e não a “incidência de luz na fotocélula”.

A primeira linha da tabela não possui divisão em colunas e é ocupada por um desenho icônico da montagem experimental utilizada na reprodução e estudo do EF. Na legenda interna desse desenho icônico estão presentes textos verbais associados aos elementos representados no desenho. Esses textos têm tanto a função de nomear os componentes, quanto de guiar o olhar do leitor de modo a chamar sua atenção para aqueles elementos que são importantes na montagem experimental. Para relacionar um nome à estrutura a ele associada foi utilizada uma linha, que vai da estrutura até a palavra (nome).

A relação entre as teorias clássica e quântica para a emissão de luz pode ser investigada com base no arranjo experimental científico representado na tabela a seguir.

Incidência de luz na fotocélula: arranjo experimental e equipamentos	
<p style="font-size: small; transform: rotate(-90deg); position: absolute; left: -40px; top: 50px;">Luís Moura</p>	<p style="text-align: right;">Ver Orientação 38.</p> <p>Configuração experimental usando uma fonte luminosa de mercúrio.</p>
	<p>Caixa com fotocélula Dispositivo que possui uma fenda para a entrada de radiação eletromagnética e uma fotocélula em seu interior. A fotocélula, também chamada célula fotoelétrica, é um dispositivo sensível à radiação eletromagnética, na região vizinha à visível. Ela delimita essa região de maneira que quando sobre ela incide esta radiação é gerada uma corrente.</p>
	<p>Fonte de radiação eletromagnética Dispositivo que emite radiação eletromagnética. No experimento, é utilizado como fonte uma lâmpada de vapor de mercúrio que emite em várias frequências, do vermelho ao ultravioleta próximo.</p>
	<p>Rede de difração Dispositivo óptico que consiste numa placa de material óptico transparente. Em sua superfície, traçam-se linhas paralelas muito próximas umas das outras e equidistantes, difratando assim a radiação eletromagnética incidente.</p>
	<p>Filtro de intensidade de radiação Dispositivo que absorve parte da radiação incidente e transmite a restante.</p>
<p style="font-size: x-small; transform: rotate(-90deg); position: absolute; left: -40px; top: 50px;">Fotos: Talita Romero</p>	<p>Picoamperímetro Dispositivo graduado em picoampere destinado a medir corrente elétrica de intensidades da ordem de 10^{-12} A, indicada pela posição da agulha.</p>



Fonte de pesquisa: HOUAISS, Antonio. *Dicionário Houaiss de Física*. 1. ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005.

Figura 3.10 – Texto do quarto parágrafo e tabela da página 377 do livro Física em contextos.

Cabe ressaltar que alguns desses textos verbais não são retomados no texto, isto é, não há referências a eles no texto verbal principal. Isso acontece, por exemplo, com as expressões “experimento de h/e” e “conexão com o voltímetro”. A falta de coesão e coerência entre elementos que aparecem nas imagens organizadas pela tabela e o texto verbal principal, parece estar relacionada ao fato de que as imagens usadas na composição da tabela correspondem a fotografias de um equipamento didático específico, comercializado por uma empresa americana (PASCO) e diagramas diretamente extraídos do manual de instruções desse equipamento. Assim, o termo “experimento de h/e” corresponde ao nome utilizado para identificação do equipamento no catálogo dessa empresa. Reproduzimos, na figura a seguir, parte do manual de instruções desse equipamento.

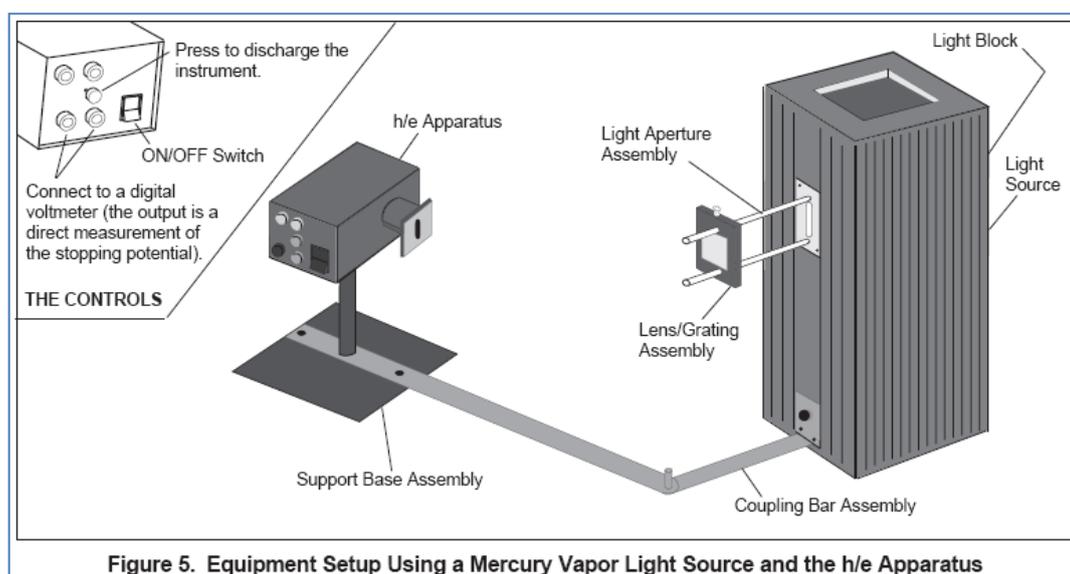


Figura 3.11 – Fragmento retirado do Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO h/e Apparatus.

Essa profusão de termos não conectados entre si aumenta o trabalho semiótico a ser feito pelo leitor e dificulta a interpretação do texto. Além disso, a apresentação de tantos detalhes específicos de uma montagem, também específica, possui relevância no mínimo duvidosa. Afinal, o equipamento didático mostrado na fotografia é diferente daquele usado na virada dos séculos XIX e XX e não contribui sobremaneira para a compreensão do fenômeno. Para esse fim específico, que diferença faz, por exemplo, a fonte de radiação advir de uma lâmpada de mercúrio (incorretamente identificada nas fotografias) ou o controle de intensidade ser proporcionado por um filtro que o texto verbal principal afirma “similar aos *insufilms* usados nos veículos”?

Após a linha em que aparece o desenho icônico, a tabela passa a ser dividida em duas colunas. Essa divisão é estabelecida visualmente por uma linha branca. Na primeira coluna se encontram fotografias dos equipamentos que compõem a montagem e na

segunda coluna são apresentados textos que descrevem esses componentes. Assim, pode-se considerar que toda essa tabela é um texto multimodal descritivo, que visa guiar o olhar do leitor de modo que ele perceba quais são os equipamentos supostamente essenciais para a realização do experimento e quais são as propriedades e funções desses equipamentos que precisam ser consideradas.

As fotografias, nesse caso, podem ter sido escolhidas para cumprir a função de aproximar o mundo dos objetos e eventos ao mundo das teorias e conceitos, ao sinalizar que o EF pode ser obtido com itens concretos e específicos. Possivelmente, os autores concebem seus leitores como indivíduos que não terão acesso a esse tipo de equipamento. Uma montagem como essa possui um custo muito alto e dificilmente será encontrada em uma escola de Ensino Médio. A fotografia cumpriria, então, a função de minimizar a dificuldade de acesso a esse tipo de equipamento.

Os textos descritivos que acompanham cada elemento representado na fotografia têm por objetivo não apenas descrever as propriedades do elemento que está representado, mas também, em alguns casos, descrever o funcionamento e suas estruturas internas. A fotografia da “caixa com fotocélula” não permite a visualização da fotocélula que está em seu interior. Para comunicar ao leitor que a fotocélula está dentro da caixa os autores utilizam o texto verbal descritivo. Além disso, o texto verbal atribui à caixa propriedades necessárias à observação do efeito, como a fenda, que delimita a luz que incide sobre a fotocélula.

Na linha em que se apresenta a “fonte de radiação eletromagnética” também é apresentada outra estrutura: a “rede de difração”. Para a correta associação de cada nome ao elemento que ele representa, o leitor, que tiver interesse, precisará recorrer ao desenho mostrado na primeira linha da tabela. A partir do desenho, por similaridade, o leitor poderá associar corretamente a “fonte de radiação eletromagnética” à caixa grande e a “rede de difração” à estrutura que se encontra na frente da saída de luz da fonte.

Em frente a essa linha da tabela, porém fora da tabela, há uma fotografia de um elemento que foi identificado pela legenda como “Lâmpada de mercúrio”. Observa-se nesse caso uma quebra da coerência e da coesão multimodal. Esta fotografia deveria estar posicionada em frente à linha que apresenta a “caixa com fotocélula” e em sua legenda deveria estar o texto verbal **fotocélula**. Afinal, a fotografia não mostra uma lâmpada de mercúrio e sim, uma válvula 1P39, utilizada como fotocélula no experimento mostrado no desenho icônico da primeira linha da tabela. Esta válvula é a fotocélula que se encontra dentro da “caixa com fotocélula” mostrada na fotografia da segunda linha da tabela. Se esta associação tivesse sido estabelecida, o leitor teria tido a oportunidade de conhecer uma fotocélula, ainda que pela fotografia. Em momento algum do texto os autores descrevem a

estrutura da fotocélula, o que, como veremos, dificulta a compreensão do EF, pois, afinal, esse fenômeno só pode ser estudado em uma fotocélula.

O filtro e o amperímetro são descritos pelas funções que desempenham no estudo do EF: absorver parte da radiação e emitir o restante, para o filtro, e medir correntes elétricas bem pequenas, no caso do picoamperímetro. Nos chama a atenção os erros que aparecem no texto que trata do picoamperímetro. De início, a palavra picoamperímetro está grafada de modo incorreto. Além disso, no texto que apresenta a descrição do aparelho está escrito o seguinte: "... corrente elétrica de intensidades da ordem de 10-12A ..." . Esse texto diz que as correntes que esse aparelho mede estão na faixa de 10 a 12 ampères, o que é uma corrente altíssima em se tratando do EF. Na verdade deveria estar escrito "... corrente elétrica de intensidades da ordem de 10^{-12} A ...". Por isso o aparelho é denominado picoamperímetro (o prefixo **pico** significa 10^{-12}). As correntes envolvidas em uma experiência com o EF são extremamente pequenas. Esse tipo de problema aparece ao longo de todo o livro e denota uma falta de cuidado na revisão do texto. O acúmulo desses erros certamente compromete a qualidade do livro como recurso mediacional para o ensino da Física no nível médio.

Após a apresentação dos equipamentos utilizados na montagem experimental destinada ao estudo do EF, os autores passam a descrever como aqueles equipamentos são utilizados na realização do experimento. Os parágrafos cinco a oito apresentam essa descrição. Veja a figura 3.12.

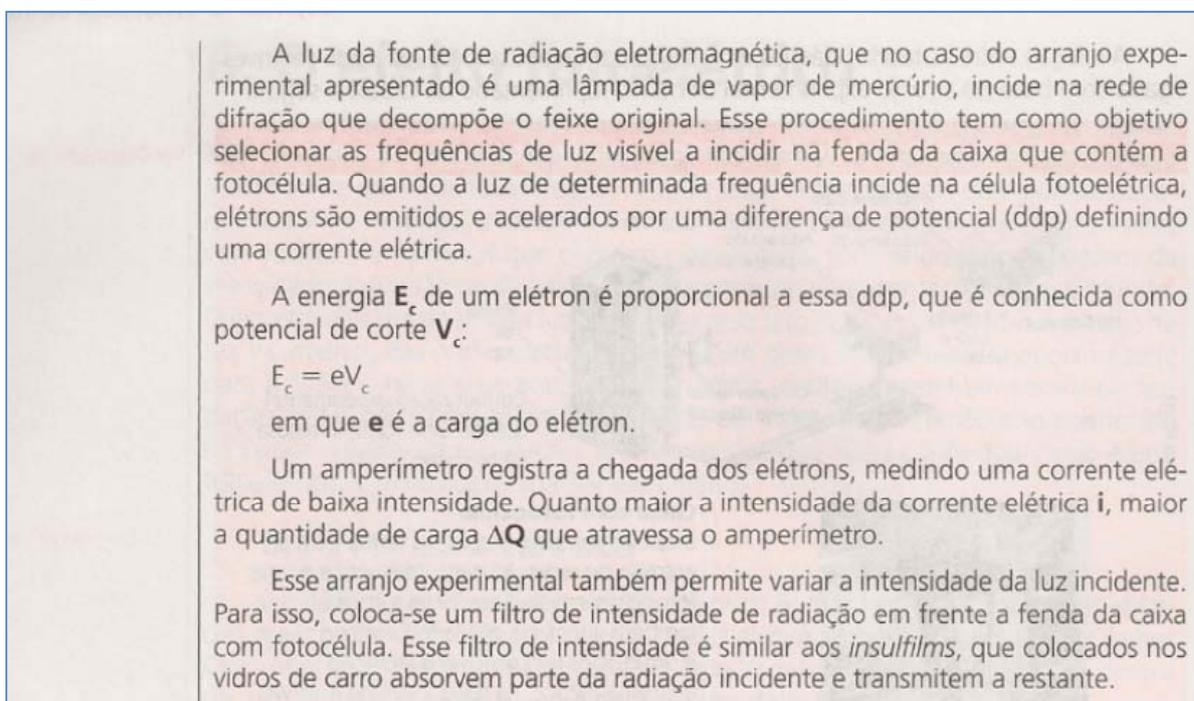


Figura 3.12 – Texto dos parágrafos 5 a 8 da subseção 6.1 do livro Física em contextos (p. 378).

No parágrafo cinco os autores descrevem o processo de emissão de elétrons por uma fotocélula em função da luz que incide sobre ela. A compreensão das duas frases iniciais desse parágrafo demanda um movimento de intertextualidade com os capítulos oito e onze desse mesmo livro. No capítulo oito, o leitor foi apresentado à rede de difração enquanto no capítulo onze são apresentados conceitos e informações ligados à espectroscopia.

Na última frase do parágrafo cinco encontra-se a seguinte afirmação: “Quando a luz de determinada frequência incide na célula fotoelétrica, elétrons são emitidos e acelerados por uma diferença de potencial (ddp) definindo uma corrente elétrica.”. Em todo o parágrafo cinco os autores concebem o leitor como um indivíduo que já conhece os pormenores da montagem. Assumem que o leitor sabe que uma bateria está ligada à célula fotoelétrica para estabelecer uma ddp; assumem que o leitor compreende que a luz arranca elétrons de uma região da fotocélula, que se deslocam em direção à outra região e que é capaz de imaginar essas regiões, apesar do texto só apresentar a aparência externa desse aparelho. Essas lacunas, todavia, nos parecem muito grandes para que um leitor não iniciado as preencha sozinho.

Os textos dos parágrafos cinco, seis e sete poderiam estar integrados a um desenho esquemático-icônico semelhante àquele que produzimos e apresentamos na figura 3.13, mostrada a seguir.

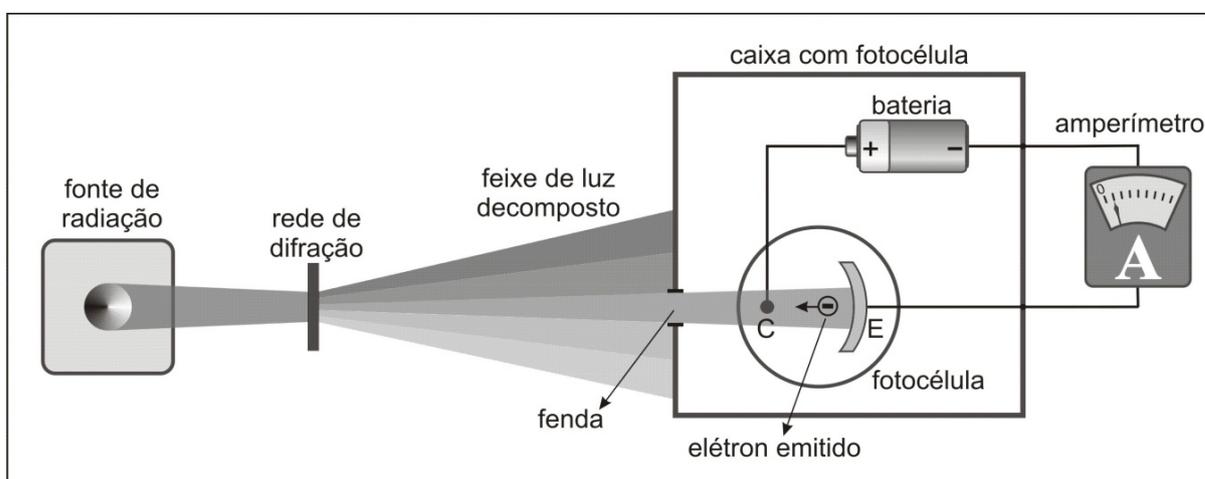


Figura 3.13 – Possível desenho esquemático-icônico que poderia estar associado ao texto dos parágrafos cinco a sete da subseção 6.1 do livro Física em contextos.

Esse desenho, por abstrair muitos dos detalhes das fotografias da tabela da página 377 do livro, permite representar a estrutura da fotocélula e a conexão desse elemento com a bateria que estabelece a ddp entre os eletrodos da fotocélula. Além disso, ele permite que processos inobserváveis sejam representados visualmente, como é o caso da emissão do elétron pelo eletrodo negativo da fotocélula. O EF é um fenômeno que requer aparelhos apropriados para ser estudado. O uso da fotografia na tabela permite que o leitor saiba

como pode ser a forma física de tais aparelhos, mas não ajuda na compreensão das estruturas fundamentais que compõem a montagem. O desenho esquemático-icônico acima sugerido se presta melhor a essa tarefa.

É lícito considerar que a inserção do desenho aumentaria a quantidade de trabalho semiótico a ser realizado pelo leitor, pois, afinal, ele teria de fazer muitos movimentos de ir e vir do texto ao desenho e do desenho ao texto, tendo, ainda, de realizar processos de pré-identificação, transposição e translação dos signos que compõem a inscrição. Por outro lado, o desenho poderia facilitar o trabalho do leitor não iniciado, dado que ele não teria de imaginar sozinho como são as estruturas, as conexões entre os elementos e os processos que ocorrem na montagem destinada ao estudo do EF.

A sequência textual composta pelos parágrafos cinco a oito e, mais especificamente, o parágrafo seis, está ligada a uma expressão algébrica que os autores afirmam relacionar a energia E_c do elétron emitido com a ddp estabelecida entre os eletrodos. Supõem os autores que o símbolo E_c será tranquilamente interpretado como referindo-se à expressão energia cinética, pois, no texto, não há uma explicitação do significado daquele símbolo. Com essa expressão os autores pretendiam associar o valor da energia cinética dos elétrons emitidos com a ddp a que eles ficam submetidos na fotocélula. Os autores afirmam no texto que V_c é o valor da ddp a que os elétrons estão submetidos, mas isso é verdade somente quando a corrente elétrica medida pelo amperímetro é nula. Nessas circunstâncias, o valor V_c representa a ddp que faz com que os elétrons emitidos de um dos eletrodos não cheguem até o outro eletrodo. Além desse erro na apresentação da expressão algébrica, os autores não dão informações ao leitor que o auxiliem a compreender o significado físico da relação entre as grandezas, estabelecida pela expressão.

Esses quatro parágrafos (cinco a oito) estão integrados à tabela da página 377, pois, fazem menção aos elementos lá representados. Porém, como procuramos mostrar, tal integração não contribui para a compreensão do fenômeno: há uma quebra de coesão e coerência multimodais. A tabela é utilizada com a função descritiva de mostrar em detalhes os equipamentos que podem ser utilizados no estudo do EF. Já o texto verbal dos parágrafos cinco a oito descrevem os processos por meio dos quais o fenômeno é produzido, a partir dos equipamentos mencionados na tabela. Esses processos requerem uma configuração particular daqueles equipamentos e envolvem entidades que não podem ser fotografadas ou observadas. Como já afirmamos, um desenho esquemático seria mais adequado à apresentação desses processos. O texto apresenta uma grande quantidade de detalhes a respeito do experimento sobre o EF, contudo, grande parte dessas informações perde a função, uma vez que o leitor precisa realizar muito trabalho semiótico para preencher as lacunas e recebe informações que não o auxiliam nessa tarefa. Por se tratar de um livro de quatro autores, se supusermos que todos os autores se envolveram na tarefa

de produção e revisão do texto, chegaremos à conclusão que a orquestração multimodal não é, propriamente, uma tarefa simples. O problema dessa orquestração diz respeito à necessidade de conceber a coesão e a coerência multimodais do ponto de vista do enunciatário, não do enunciador. Sem isso, as falhas na orquestração que aparecem em nossa análise dificilmente serão percebidas pelos enunciadores.

O texto verbal do parágrafo nove apresenta cinco constatações a respeito do EF (veja a figura 3.14 abaixo). Estas constatações retomam as constatações feitas no terceiro parágrafo, porém, se limitam a apresentar os resultados de uma suposta realização de experimentos envolvendo o aparato apresentado nos parágrafos anteriores. Por esse motivo, categorizamos esse trecho do texto como a fase inicial de uma sequência explicativa que será desenvolvida apenas na subseção 6.2. Nesse momento, não há um movimento dos autores, no sentido de desenvolver esses cinco pontos. Ao contrário, eles optam por apresentarem esses cinco pontos por meio de outro tipo de inscrição didática: os gráficos cartesianos.

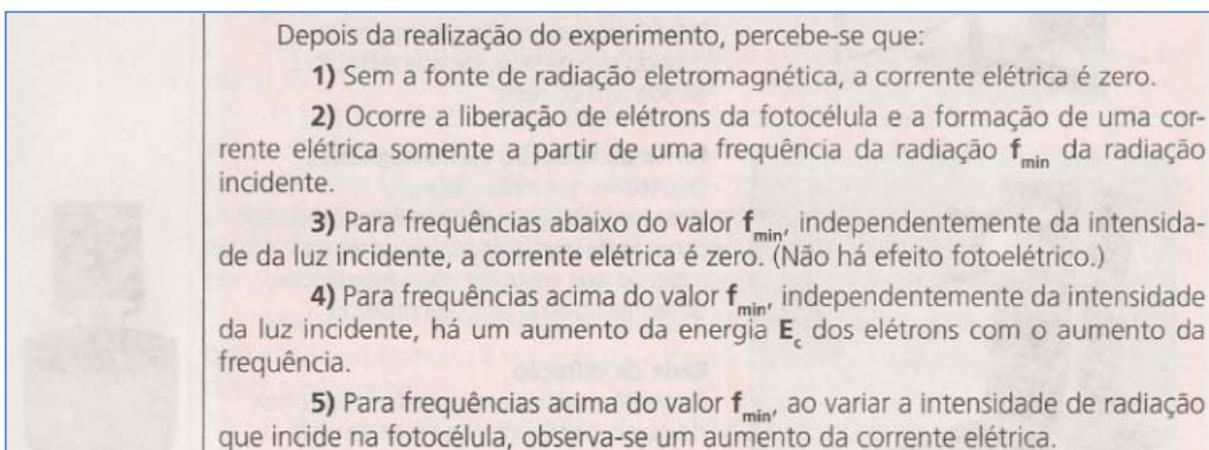


Figura 3.14 – Texto do nono parágrafo da subseção 6.1 do livro Física em contextos (p. 378).

O texto verbal do parágrafo dez direciona o leitor para dois gráficos cartesianos (veja a figura 3.15 na próxima página). O parágrafo dez foi introduzido para estabelecer uma coesão entre o texto verbal do parágrafo nove, os gráficos cartesianos e o texto verbal dos parágrafos onze e doze. Como não há legenda para identificar a figura, o texto verbal do parágrafo dez também se presta a orientar a leitura dos gráficos. Note que a associação entre texto verbal e gráfico precisa ser realizada por meio da proximidade que resulta da diagramação da página (veja na figura 3.15).

Um dos gráficos mostra a variação da energia cinética dos elétrons em função da frequência da luz e o outro apresenta a variação da corrente elétrica em função do potencial que acelera os elétrons. No texto verbal, os autores associam aos gráficos dois índices dêiticos (a e b) que poderiam orientar o leitor a associar cada gráfico ao que ele representa. No entanto, nos gráficos, não aparecem os índices, de modo que o leitor precisa realizar

outros movimentos para associar corretamente os gráficos ao texto. Essa associação vem de duas possibilidades, que muito provavelmente são utilizadas em conjunto: i) devido à experiência do leitor com o modo da escrita ocidental, em que se inicia a leitura pela esquerda, o leitor pode associar a letra A, ao primeiro gráfico, e a letra B, ao segundo; ii) como os gráficos representam grandezas distintas o leitor poderá buscar as unidades representadas nos eixos dos gráficos e associá-las aos textos verbais.

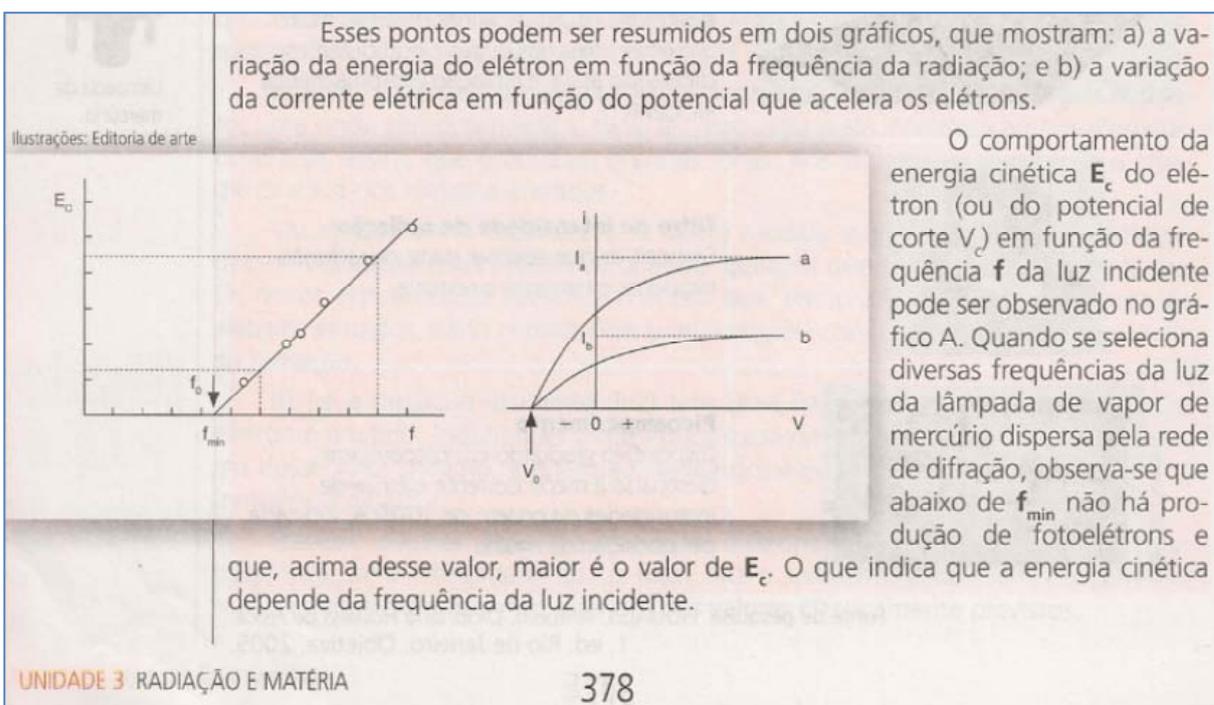


Figura 3.15 – Texto dos parágrafos 10 e 11 da seção 6.1 do livro Física em contextos (p. 378).

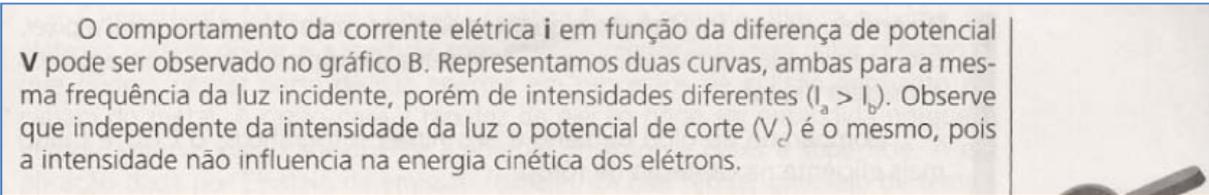
Se o leitor utilizar essas estratégias ele poderá associar corretamente a descrição do parágrafo onze ao gráfico mais à esquerda e o texto verbal do parágrafo doze ao gráfico mais à direita. Em ambos os parágrafos, os autores procuram guiar o olhar do leitor, de modo que ele perceba os pontos importantes dos gráficos.

O texto verbal do parágrafo onze leva o leitor a estabelecer uma relação entre o gráfico mais à esquerda e o texto verbal dos parágrafos cinco e nove. Nesse texto, os autores fazem menção à realização da experiência, às grandezas representadas no gráfico e a algumas das constatações do parágrafo nove.

Os gráficos comunicam informações de forma diferente do que faz o texto verbal. Enquanto, no texto verbal, se diz que acima do valor f_{\min} , quanto maior for o valor da frequência, maior será a energia cinética do elétron, o gráfico exhibe uma co-variação dessas duas grandezas. Por meio de uma representação visual, o leitor vê como uma grandeza se comporta em relação à outra. Essa propriedade topológica dos gráficos permite que co-variações entre grandezas se tornem signos visuais de padrões de comportamento, uma possibilidade que a linguagem verbal não apresenta.

No texto verbal, que é apresentado ao lado dos gráficos, os autores trazem considerações a respeito do gráfico situado mais a esquerda. Essas considerações são fornecidas em uma sequência textual descritiva, que visa guiar o olhar do leitor para aspectos importantes do gráfico. Em primeiro lugar, dá-se destaque à existência de uma frequência mínima para a ocorrência do efeito fotoelétrico. A compreensão dessa informação depende da capacidade do leitor em vincular a ocorrência do efeito a uma energia cinética não nula para os fotoelétrons. Depende, ainda, da identificação das réplicas do signo f_{\min} que aparecem, tanto no texto verbal, quanto no gráfico. Em segundo lugar, o texto verbal afirma que, acima de f_{\min} , a energia cinética dos elétrons aumenta com a frequência da radiação incidente. Para auxiliar o leitor a compreender essa afirmação a partir do gráfico são utilizadas linhas pontilhadas que marcam valores de pares ordenados de f e E_c . Comparando os dois pares ordenados sinalizados desse modo, o leitor pode concluir que para um valor menor de f está associado um valor menor de E_c e que o aumento no valor de f está associado a um aumento no valor de E_c .

O segundo gráfico, mais à direita, apresenta o comportamento da corrente medida pelo picoamperímetro em função da diferença de potencial estabelecida entre os eletrodos da célula fotoelétrica. Há, na verdade, dois gráficos, ou duas linhas curvas, que compartilham o mesmo par de eixos. O texto verbal que descreve o gráfico é apresentado na página 379 do livro e está reproduzido na figura 3.16, a seguir. Nesse texto, os autores apresentam duas informações adicionais que não podem ser deduzidas da simples leitura dos gráficos, mas que são necessárias à interpretação dos mesmos. Essas informações são: (i) cada curva corresponde a uma dada intensidade da luz que incide na célula fotoelétrica, sendo a intensidade associada à curva **a** maior do que aquela associada à curva **b**; (ii) as duas curvas correspondem à mesma frequência da luz incidente.



O comportamento da corrente elétrica i em função da diferença de potencial V pode ser observado no gráfico B. Representamos duas curvas, ambas para a mesma frequência da luz incidente, porém de intensidades diferentes ($I_a > I_b$). Observe que independente da intensidade da luz o potencial de corte (V_c) é o mesmo, pois a intensidade não influencia na energia cinética dos elétrons.

Figura 3.16 – Texto do parágrafo 12 da seção 6.1 do livro Física em contextos (p. 379).

Além disso, os autores também direcionam o olhar do leitor para uma característica específica do gráfico que permite a realização de uma importante inferência apresentada no modo verbal: o potencial de corte (V_c) é o mesmo, independente da intensidade da luz incidente. O direcionamento do olhar do leitor está diretamente associado ao uso da expressão “observe que...”, contudo, essa intenção retórica pode ser frustrada em função de dois aspectos problemáticos.

Em primeiro lugar, no gráfico, o potencial de corte foi representado pelo signo V_0 , enquanto o texto se refere ao mesmo com o signo V_C . A utilização de signos diferentes para o mesmo referente é um obstáculo à semiose, pois o leitor não tem acesso ao signo V_C no próprio gráfico. Em segundo lugar, a informação sinalizada pela expressão “observe que...” não possui uma correspondência visual direta com o gráfico por se tratar de uma inferência. O que o gráfico mostra, visualmente, é que as duas curvas convergem para um mesmo ponto do eixo das abscissas. Os autores poderiam, então, ter dito algo como “observe que as duas curvas convergem para o mesmo ponto no eixo horizontal do gráfico; esse ponto é o potencial de corte V_C e, por isso, pode-se afirmar que o potencial de corte (V_C) é o mesmo, independente da intensidade da luz incidente”. A sinalização de uma informação visual contida no gráfico para sustentar uma afirmação verbal pode ser considerada uma realização mais completa de coesão multimodal.

Até esse ponto do texto o leitor foi apresentado ao EF, à montagem experimental que permite sua reprodução e aos resultados obtidos com a realização do experimento. O leitor foi informado, também, que a Física Clássica falha ao fornecer explicações para esses resultados experimentais. O desenvolvimento da explicação que torna os resultados compreensíveis e logicamente necessários virá somente na página seguinte (p. 380) do texto. Antes disso, os autores apresentam uma sugestão de experimento e um exemplo de aplicação tecnológica para o EF. Veja a proposta de experimento na figura 3.17, a seguir.



Figura 3.17 – Sugestão de experimento junto ao texto sobre o EF no livro Física em contextos (p. 379).

A proposta de experimento é visualmente destacada por um quadro, que não está presente no restante do texto. Além disso, mudam o tipo e o tamanho da fonte. Esses recursos sinalizam para o leitor que este trecho do livro não é parte do desenvolvimento do

texto principal. Sem acesso aos equipamentos necessários à realização do experimento proposto, professores e alunos cuja atividade didática seja mediada pelo texto elaborado pelos autores poderão interagir com o quadro considerando-o como um exercício. Nesse exercício o leitor é convidado a agir, mentalmente, sobre um eletroscópio de folhas. Por meio de um texto injuntivo o leitor deve imaginar-se realizando as ações de carregar um eletroscópio e depois projetar luz ultravioleta sobre ele. A forma de uso dos verbos “carregue” e “coloque” são características de textos injuntivos, que incitam à ação. Os desenhos que aparecem no quadro, junto ao texto verbal, ajudam o leitor na tarefa de se imaginar realizando as ações. Por fim, o leitor é colocado frente a algumas questões. Para responder a esse exercício o estudante precisa lembrar como funciona o eletroscópio, tratado no capítulo 1 do livro. Além disso, o leitor precisa ainda fazer uma associação com dois outros pontos do texto. Um deles é o texto verbal e o gráfico dos parágrafos dez e onze. Resta ainda uma associação com o texto do capítulo 8 em que é apresentado o espectro eletromagnético e feita a associação do nome de uma faixa de radiações com a frequência dessa faixa. Esses movimentos ajudariam o leitor a pensar na luz ultravioleta como uma radiação com energia mais alta, capaz de produzir o EF, descarregando o eletroscópio. Cabe ressaltar que o leitor precisa imaginar que o eletroscópio foi eletrizado com carga negativa.

O exemplo de aplicação tecnológica utilizado pelos autores é a câmera CCD. Esse exemplo, reproduzido na figura 3.18, na próxima página, é apresentado como um segmento destacado dentro da subseção 6.1. Seu início é marcado pelo uso de uma fonte maior que o restante do texto. O final é sinalizado por um fragmento de moldura situado no lado inferior esquerdo da última linha que compõe esse segmento do texto verbal.

A exemplo do que já sinalizamos na análise do livro *Física Ciência e Tecnologia*, também nesse caso, trata-se de uma realização equivocada da intenção retórica ligada à exemplificação, qual seja sinalizar a inter-relação entre os mundos concebido e vivido. A razão é simples: o CCD não é uma aplicação do EF, pois não ocorre esse fenômeno no interior do dispositivo mencionado. Existe aqui, no entanto, um atenuante, pois, no início do texto lê-se que: “O conhecimento do efeito fotoelétrico permitiu que se desenvolvessem dispositivos que transformam a luz em sinal elétrico”. Essa afirmação pode ser considerada um atenuante na medida em que sinaliza a existência de um desenvolvimento histórico e tecnológico que relaciona o EF ao CCD. Esse atenuante, contudo, fica enfraquecido pela força do título desse fragmento de texto, destacada com uma letra de corpo maior que a utilizada no suposto atenuante. O título autoriza e reforça uma afirmação conceitualmente equivocada: a de que o CCD seria uma “aplicação tecnológica do EF”.

Ocorre, porém, que o EF corresponde à emissão de elétrons a partir de placas metálicas sobre as quais incide luz com uma frequência adequada. Já o CCD é um

dispositivo constituído por materiais semicondutores com uma estrutura microscópica profundamente diferente da encontrada nos metais. Valem aqui as mesmas observações sobre as diferenças entre o EF e os processos de interação luz-matéria em semicondutores que mencionamos na análise do livro *Física Ciência e Tecnologia*. Assim, do ponto de vista do conhecimento científico-tecnológico, a afirmação de que o CCD é uma aplicação do EF pode ser considerada como um “erro conceitual”. Esse erro, no entanto, poderia ser evitado com uma mudança no título desse fragmento de texto. Algo do tipo “Aplicações do conhecimento científico sobre a interação entre a luz e os materiais” seria adequado. Mais uma vez, a exemplo do que fizemos na análise do outro livro, podemos dizer que os autores foram pouco cuidadosos ao perseguir a função retórica de estabelecer um vínculo entre uma classe de referentes e um referente específico, que nesse caso, visa aproximar os mundos vivido e concebido. A gravidade dessa constatação está relacionada ao título do livro: *Física em contextos*.

Aplicações do efeito fotoelétrico

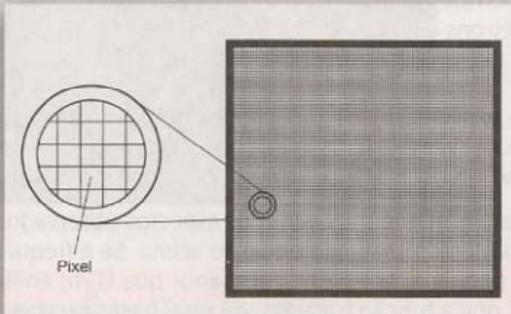
O conhecimento do efeito fotoelétrico permitiu que se desenvolvessem dispositivos que transformam luz em sinal elétrico. Câmeras de vídeo ou câmeras fotográficas digitais, tanto amadoras como profissionais, utilizam um CCD (*Charge-Couple Device*, ou dispositivo de carga acoplada). Esse dispositivo detector de luz é formado por sensores fotoelétricos feitos de material semicondutor.

Os pontos dessa matriz são os *pixels*. Na prática, sabemos que uma câmera digital com mais *pixels* dá origem a imagens mais nítidas. Isso ocorre porque cada *pixel* corresponde a um sensor fotoelétrico que dará origem a um “pedaço” da imagem; quando somados, eles compõem a imagem digital final. Assim, a quantidade de sensores define a qualidade da imagem.

O conjunto de lentes da câmera digital faz a captação óptica, conjuga a imagem real e a projeta sobre o CCD. Por meio do efeito fotoelétrico, um elétron é liberado quando um fóton atinge um desses sensores. Mais elétrons são liberados se mais fótons atingem o sensor. A luz incidente excita os *pixels* e estes, por meio do efeito fotoelétrico, produzem uma corrente de elétrons.

Técnica e tecnologia





Representação do CCD e seus sensores fotoelétricos. O CCD tem formato quadrado e os sensores fotoelétricos são distribuídos em linhas e colunas.

379

De onde o elétron foi liberado e quantos elétrons foram liberados, *pixel a pixel*, isso é registrado e armazenado por um sistema eletrônico. Assim, conseguimos a imagem digital.

Comparado ao olho humano e aos filmes fotográficos, o CCD é muito mais eficiente na captação de fóton.

Figura 3.18 – Texto com suposto exemplo de aplicação tecnológica para o efeito fotoelétrico, presente no livro *Física em contextos* (pp. 379-380).

O texto prossegue com a seção 6.2, intitulada “Interpretação de Einstein: luz como partícula”. Essa seção desenvolve a sequência explicativa iniciada na seção precedente com a apresentação dos resultados do experimento destinado à investigação do EF. O primeiro parágrafo desta seção está reproduzido a seguir, na figura 3.19.

6.2 Interpretação de Einstein: luz como partícula

Em 1905, Einstein propôs a teoria do efeito fotoelétrico, que concordava com os resultados experimentais até então obtidos e posteriormente com medidas mais precisas feitas por Millikan e outros pesquisadores. Einstein afirmou que a radiação eletromagnética de frequência **f** continha “pacotes” de energia de intensidade diretamente proporcional a sua frequência. A esses “pacotes”, deu-se posteriormente o nome de fótons e para sua energia determinou-se que:

$$E = hf$$

em que **E** é a energia radiante, **f** é a frequência da radiação e **h** é uma constante fundamental da natureza. A constante **h** é conhecida como a constante de Planck e vale $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js. Foi o físico alemão Max Planck (1858-1947) quem primeiro considerou a energia total da radiação eletromagnética como a soma das energias de unidades (pacotes) quantizados, os fótons. Estes são partículas em constante movimento que, no vácuo, se propagam com a velocidade da luz **c** e não possuem massa. Podemos associar aos fótons energia **E** e quantidade de movimento **Q**.

Figura 3.19 – Texto do primeiro parágrafo da subseção 6.2 do livro Física em contextos (p. 380).

O primeiro parágrafo desta subseção é constituído por uma grande variedade de tipos de textos. No início os autores fazem uma referência histórica ao personagem que forneceu uma explicação para o EF coerente com os resultados experimentais. Posteriormente, o texto apresenta a hipótese criada por Einstein para interpretar o fenômeno. Nesse momento, é também apresentada uma expressão algébrica que define a quantidade de energia dos “pacotes” ou fótons de luz. O final do parágrafo atribui a outro personagem, Max Planck, a concepção original da hipótese utilizada por Einstein na interpretação do EF e finaliza atribuindo certas propriedades aos fótons.

Essa atribuição de propriedades apresenta alguns problemas. Os autores afirmam que os fótons não possuem massa, quando o correto seria dizer que eles não possuem massa de repouso. Além disso, a afirmação de que “os fótons se propagam” aliada à afirmação de que os fótons são partículas representa um obstáculo à compreensão da dualidade onda-partícula. Afinal, se os fótons são partículas, como afirma o texto, como explicar os experimentos de interferência monofotônica? Partículas, por definição, não podem sofrer interferência, mas os fótons apresentam esse comportamento. A solução desse paradoxo pode ser superada com a aplicação do princípio da complementaridade que é considerado uma interpretação oficial da mecânica quântica e que foi formulada por Niels Bohr durante a década de 1920. Segundo esse princípio, a luz sempre se propaga como

onda; seu comportamento corpuscular aparece nos processos de irradiação (emissão de luz) e absorção de luz. Mesmo sem utilizar esse princípio, os autores poderiam introduzir algum princípio alternativo, como o modelo proposto por David Bohm, por exemplo, segundo o qual a luz é constituída por partículas que “surfam” em ondas.

Nos parágrafos dois a cinco dessa seção, são fornecidas as razões, baseadas na teoria proposta por Einstein, que permitem explicar os resultados experimentais apontados nas constatações apresentadas nos parágrafos três e nove da subseção 6.1. Os parágrafos dois a cinco podem ser vistos como a fase de desenvolvimento da sequência explicativa que teve início na primeira subseção (6.1). Com o texto explicativo desses parágrafos, os autores compartilham com o leitor a forma aceita atualmente pela ciência para compreender o EF.

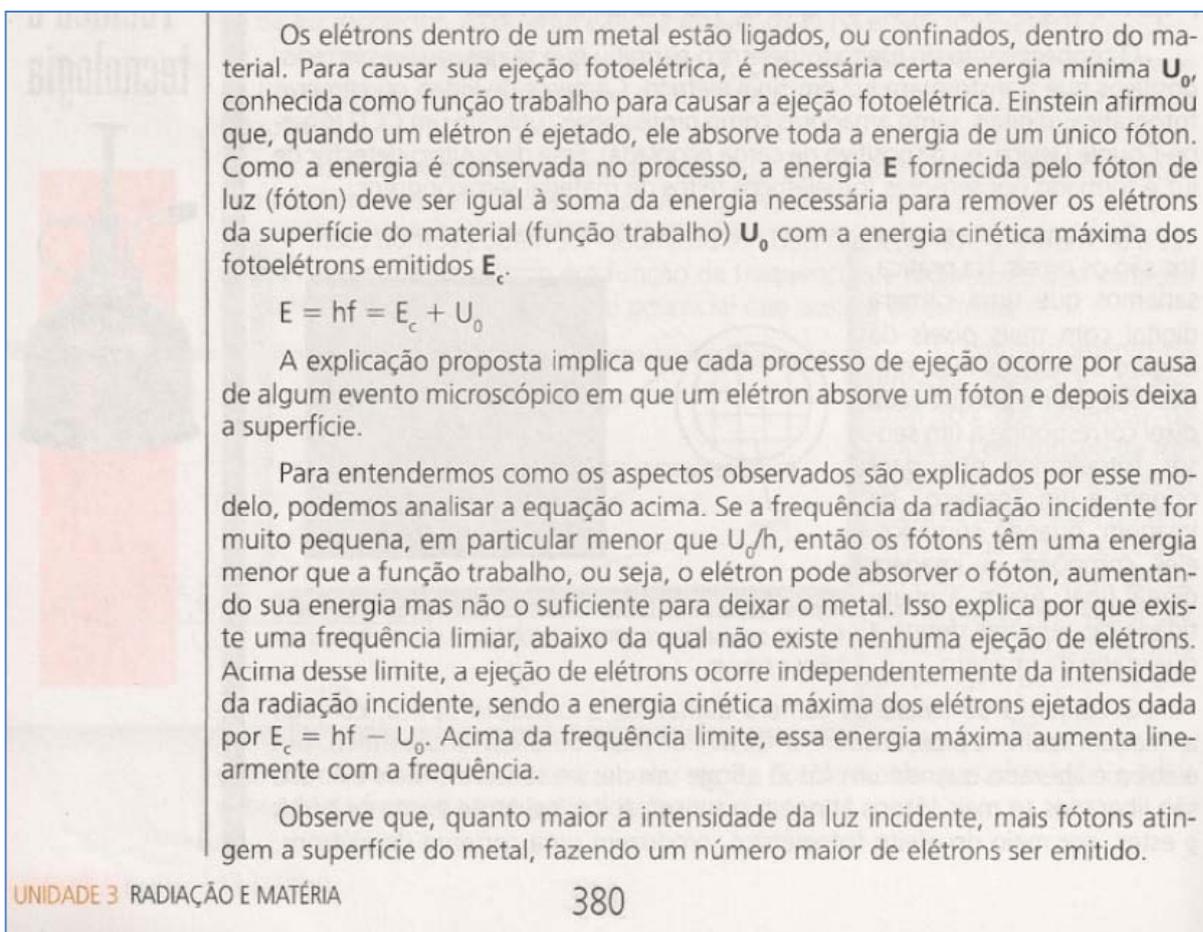
Os parágrafos dois a quatro, da subseção 6.2, estão explicitamente integrados à expressão algébrica que aparece nesse fragmento do texto (veja a figura 3.20, na próxima página). No segundo parágrafo, essa integração é feita, em primeiro lugar, pelas réplicas de signos que aparecem no texto verbal e na expressão algébrica. Além disso, o texto verbal desse parágrafo estabelece, entre as grandezas E , E_C e U_C , as mesmas relações que são estabelecidas por meio da expressão algébrica. Utilizando a linguagem de Duval (2006) como referência, podemos dizer que do texto do segundo parágrafo para a expressão algébrica que a ele se segue ocorre uma conversão entre dois registros semióticos (verbal e algébrico) que, nesse caso, são equivalentes. Do ponto de vista causal, a relação estabelecida entre essas grandezas baseia-se no princípio da conservação da energia: parte da energia do fóton absorvido é usada para retirar o elétron do metal e o restante aparece como energia cinética do fotoelétron.

O parágrafo três reitera o que foi dito no parágrafo dois, por meio de uma paráfrase. Esse recurso produz um efeito de redundância que tanto reitera quanto destaca uma informação central na explicação do EF formulada por Einstein. No parágrafo dois essa informação está em meio a um conjunto de outras informações.

No parágrafo quatro os autores retomam algumas constatações iniciais que deram origem à sequência textual explicativa. Eles propõem uma análise da expressão $hf = E_C + U_0$ e apresentam informações que podem ser obtidas por meio de um tratamento ou desenvolvimento algébrico dessa expressão. Assim, para compreender o texto, o leitor precisará manipular a expressão. Isso nos permite dizer que a interpretação do texto verbal depende de uma orquestração entre os modos verbal e expressão algébrica.

O parágrafo cinco também retoma parte das constatações iniciais, mas utiliza uma expressão inadequada em sua abertura, do ponto de vista da coesão e da coerência textual. A expressão “Observe que” incita o leitor a realizar uma observação, mas o que se segue a essa expressão é uma informação complementar e sem qualquer relação explícita com a

expressão algébrica que estava sendo “analisada” ou utilizada no parágrafo anterior. Trata-se, além do mais, de algo que não pode ser observado, pois diz respeito a uma das hipóteses que constitui a teoria formulada por Einstein, qual seja, a afirmação de que a intensidade da luz é proporcional ao número de fótons gerados na interação da luz com a placa metálica utilizada para a produção do EF.



Os elétrons dentro de um metal estão ligados, ou confinados, dentro do material. Para causar sua ejeção fotoelétrica, é necessária certa energia mínima U_0 , conhecida como função trabalho para causar a ejeção fotoelétrica. Einstein afirmou que, quando um elétron é ejetado, ele absorve toda a energia de um único fóton. Como a energia é conservada no processo, a energia E fornecida pelo fóton de luz (fóton) deve ser igual à soma da energia necessária para remover os elétrons da superfície do material (função trabalho) U_0 com a energia cinética máxima dos fotoelétrons emitidos E_c .

$$E = hf = E_c + U_0$$

A explicação proposta implica que cada processo de ejeção ocorre por causa de algum evento microscópico em que um elétron absorve um fóton e depois deixa a superfície.

Para entendermos como os aspectos observados são explicados por esse modelo, podemos analisar a equação acima. Se a frequência da radiação incidente for muito pequena, em particular menor que U_0/h , então os fótons têm uma energia menor que a função trabalho, ou seja, o elétron pode absorver o fóton, aumentando sua energia mas não o suficiente para deixar o metal. Isso explica por que existe uma frequência limiar, abaixo da qual não existe nenhuma ejeção de elétrons. Acima desse limite, a ejeção de elétrons ocorre independentemente da intensidade da radiação incidente, sendo a energia cinética máxima dos elétrons ejetados dada por $E_c = hf - U_0$. Acima da frequência limite, essa energia máxima aumenta linearmente com a frequência.

Observe que, quanto maior a intensidade da luz incidente, mais fótons atingem a superfície do metal, fazendo um número maior de elétrons ser emitido.

UNIDADE 3 RADIAÇÃO E MATÉRIA 380

Figura 3.20 – Texto dos parágrafos 2 a 5 da subseção 6.2 do livro Física em contextos (p. 380).

Os parágrafos seis e sete estão reproduzidos na figura 3.21 na próxima página. No parágrafo seis, os autores apresentam uma consideração sobre a energia cinética mencionada na expressão algébrica e nos parágrafos anteriores, de modo a justificar o uso do adjetivo “máxima”, que foi usado, nos parágrafos dois e quatro, para qualificar a energia cinética exibida pelos fotoelétrons. Em seguida, nesse parágrafo, é apresentada uma explicação para o fato de não haver um tempo de retardo entre a incidência de luz sobre o metal e a emissão dos elétrons. Esse fato, todavia, não aparece na lista de constatações iniciais que deu origem à sequência textual explicativa que estamos a analisar. Isso configura uma quebra da coesão textual, embora o fato adicionado à lista de constatações seja importante quando se considera o contraste construído ao longo do texto entre a teoria de Einstein e a Física Clássica.

É importante frisar que a energia cinética E_c é a energia cinética máxima. Os elétrons podem deixar a superfície com energia menor que esse valor máximo já que podem perder parte de sua energia em processos de colisão enquanto escapam do metal. A razão para a rapidez da ejeção pode ser entendida porque o elétron absorve instantaneamente a energia do fóton e deixa a superfície. A explicação dada por Einstein da emissão fotoelétrica não requer intervalo de tempo durante o qual a energia é acumulada no metal. Em 1916, R. A. Millikan numa série de medidas comparativas e cuidadosas confirmou a teoria de Einstein e apresentou resultados como os representados no gráfico ao lado.

Nesse gráfico, temos representado os valores de energia cinética E_c dos elétrons em função da frequência f da luz incidente para diferentes metais emissores. Segundo a equação prevista por Einstein, esperava-se um gráfico linear (função de 1º grau). O coeficiente angular da reta é igual à constante de Planck, o ponto que cruza o eixo das frequências ($E_c = 0$) corresponde à frequência mínima e o ponto que a reta cruza o eixo das energias ($f = 0$) indica a função trabalho U_0 do metal correspondente.

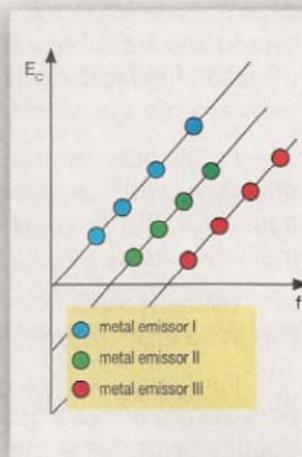


Figura 3.21 – Texto dos parágrafos 6 e 7 da subseção 6.2 do livro Física em contextos (p. 381).

O final do parágrafo seis e o parágrafo sete estão associados a uma inscrição em que aparece um gráfico da energia cinética dos elétrons (E_c) em função da frequência da luz (f), para vários metais. O final do parágrafo seis associa o gráfico a um resultado experimental obtido por Millikan, em 1916. Embora o gráfico se assemelhe bastante ao mostrado na página 378 (veja a figura 3.15, na página 105) as discussões realizadas sobre ele são diferentes.

A interpretação do texto verbal do parágrafo sete depende de uma orquestração entre o modo verbal e duas inscrições didáticas: o gráfico cartesiano e a expressão algébrica. O texto afirma que a equação de Einstein remete a um gráfico linear por se tratar de uma “função de primeiro grau”. Dessa correspondência entre as duas inscrições, o texto deduz que o coeficiente angular da reta corresponde à constante de Planck, enquanto o ponto que cruza o “eixo das energias” corresponde à “função trabalho do metal correspondente”. Todavia, não há referências ao fato do gráfico conter mais de uma reta, bem como ao fato de que cada reta representa a aplicação da equação de Einstein para um metal específico. Além disso, é importante dizer que as diferentes retas que aparecem no gráfico são diferenciadas por bolinhas de cores distintas. Essa escolha é infeliz, uma vez que frequência e cor estão relacionadas e que a variação da frequência indicada pelo eixo das abscissas no gráfico indica, necessariamente, uma variação de cor. Por fim, a linha sinalizada com bolinhas azuis (cujo início se dá a partir do encontro dos eixos do sistema de

eixos cartesianos) é absurda, pois sugere a possibilidade da existência de um material cuja função trabalho é nula.

No fim da seção 6.2, um novo exercício é proposto ao leitor seguido de um “lembrete” que não possui qualquer relação com o exercício (veja a figura 3.22 a seguir).

A longa cauda pode ser considerada a marca registrada dos cometas. Por que os cometas têm cauda? Qual sua relação com o comportamento da luz com partícula?



Explorando o assunto

As cores são ilusórias. Não correspondem aos tons reais.

As imagens estão fora da escala de tamanho.

Unidade de medida de energia na Física Quântica

A unidade de medida no SI para a energia do fóton é o joule:

$$E = hf \Rightarrow E = 1 \text{ Js} \cdot 1 \text{ Hz} = 1 \text{ Js} \cdot 1/\text{s} = 1 \text{ J}$$

Outra unidade muito utilizada para a energia do elétron é o elétron-volt (eV), em que:

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \text{ ou } 1 \text{ J} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV}$$

Lembrete

381

Figura 3.22 – Exercício proposto e Lembrete inseridos ao final da subseção 6.2 do livro Física em contextos (p. 381).

O próprio exercício, todavia, não possui qualquer relação com o texto que encerra. Não existe nem um traço de relação entre o EF e a aparência das caudas dos cometas. Ao tentar entender porque esse exercício é proposto nesse momento, poderíamos imaginar que os autores acreditam que o formato das caudas e o fato delas se alinharem na direção oposta ao Sol seria uma evidência do comportamento corpuscular da luz. Se for esse o caso, chegaremos à conclusão de que se trata de um erro conceitual grosseiro. Em primeiro lugar o efeito do Sol sobre as caudas de cometas é resultado, principalmente, do Vento Solar. O Vento Solar é constituído por prótons, elétrons, além de subpartículas como os

neutrinos. Sendo assim, a aparência das caudas de cometa nem de longe constitui uma evidência do comportamento corpuscular da luz. Além do mais, a capacidade da luz exercer pressão não constitui argumento ou evidência a favor da natureza corpuscular da luz, tendo em vista que o eletromagnetismo clássico prevê, sem problemas, essa capacidade: o conceito em questão é o de pressão de radiação.

Um novo quadro, na página 382, reproduzido na figura 3.23 a seguir, é composto, principalmente, por uma sequência textual explicativa.

Por dentro do conceito

Física Quântica, quanta de luz e fóton

A **Física Quântica** desenvolvida a partir do final do século XIX reúne o estudo do comportamento do mundo microscópico, dos átomos e das partículas subatômicas. Apresentamos nesta unidade parte das teorias quânticas que têm influenciado diretamente o progresso da humanidade. O dia 14 de dezembro de 1900, dia em que o físico alemão Max Planck (1858-1957) apresentou seu trabalho sobre a quantização da energia, é considerado a data oficial da fundação dessa Física Moderna. Nesse trabalho, Planck determinava teoricamente a curva espectral da radiação emitida por um corpo negro.

Foi ele quem tornou o termo latino **quanta** conhecido. *Quanta*, plural de *quantum*, significa quantidade. Ao estudar a emissão de radiação de corpos aquecidos, Planck sugeriu que a energia era **quantizada**, com intensidade indivisível, finita e específica para cada frequência.

Einstein propôs o “pacote” de energia em 1905, ao explicar que as características do efeito fotoelétrico indicavam que a luz era composta de partículas.

Para entendermos o que significa a luz ser quantizada, podemos compará-la com a chuva que cai na Terra na forma de gotas, ou seja, em quantidades pequenas e independentes. Dessa maneira, podemos dizer que a chuva também é quantizada. Outra comparação que ajuda a ilustrar isso é a dos sorvetes vendidos em sorveterias. Geralmente, de forma quantizada: uma bola, duas bolas, três bolas etc. Não são oferecidos pelo vendedor valores como 1,50 bola ou 4,37 bolas.

Em 1926, o termo *fóton*, o quantum de radiação luminosa, foi então designado pelo físico e químico Gilbert Lewis (1875-1946).

Figura 3.23 – Quadro apresentado no início da página 382 do livro Física em contextos.

Nesse quadro, os autores justificam o uso da palavra quântica para nos referirmos à Física desenvolvida a partir de 1900. A hipótese de Planck da quantização e os significados dos termos quanta e quantum compõem essa justificativa. Para ajudar o leitor a compreender o conceito de quantização, os autores lançam mão de duas analogias. Na primeira comparam a luz com as gotas de chuva e na segunda com bolas de sorvete. A analogia tem como intenção estabelecer a ideia de que a luz é formada de pacotes de energia discretos e não por um contínuo de radiação.

Para fechar a seção sobre o estudo do EF os autores apresentam alguns exercícios resolvidos. Não os reproduziremos aqui, pois, as considerações são muito semelhantes às que já realizamos quando tratamos do exercício resolvido apresentado no livro Física Ciência e Tecnologia. Trata-se de exercícios cuja finalidade é exemplificar formas de uso e de manipulação de expressões algébricas com o objetivo de alcançar a resposta do exercício.

A seguir encontra-se a tabela 3.3, que mostra um resumo da análise realizada ao longo desta seção. Nessa tabela são apresentados os tipos de textos, as funções retóricas e os modos mobilizados em cada parágrafo, ou em um conjunto de parágrafos, quando é o caso, dos textos analisados.

Tabela 3.3 – Tipos de textos, funções retóricas e modos mobilizados em segmentos do texto do livro Física em contextos: pessoal, social e histórico		
Parágrafo	Tipo de texto / Função retórica	Modos mobilizados
Subseção 6.1		
1	Explicação (fase inicial) / constatação de um fenômeno	Verbal
2	Explicação / compartilhar a compreensão Definição / compartilhar forma de se referir a um processo Explicação / compartilhar a compreensão	Verbal
3	Explicação (fase inicial) / constatação de um fenômeno	Verbal
4	Descrição / guiar o olhar na percepção de objetos e funções desses objetos	Verbal, fotografia, desenho icônico, tabela
5	Descrição / guiar o olhar na percepção de processos	Verbal
6	Definição / definir uma grandeza a partir de outra	Verbal, expressão algébrica
7	Descrição / guiar o olhar na percepção de processos e objetos	Verbal
8	Descrição / guiar o olhar na percepção de processos e objetos	Verbal
9	Explicação (fase inicial) / constatação de um fenômeno	Verbal
10, 11, 12	Descrição / guiar o olhar na percepção de objetos (elementos do gráfico)	Verbal, gráfico cartesiano
Exercício proposto	Injunção / imaginar ações sobre a inscrição	Verbal, desenho esquemático-icônico
Exemplo de aplicação tecnológica	Exemplificação / estabelecer um vínculo entre uma classe de referentes e um referente específico Explicação / compartilhar a compreensão do funcionamento de objeto	Verbal, desenho esquemático-icônico
Subseção 6.2		
1	Descrição / guiar o olhar na percepção de	Verbal, expressão algébrica

	processos Definição / definir uma grandeza a partir de outra Explicação / compartilhar a compreensão da origem de um termo	
2, 3, 4	Explicação / compartilhar a compreensão do fenômeno	Verbal, expressão algébrica
5	Explicação / compartilhar a compreensão do fenômeno	Verbal
6	Explicação / compartilhar a compreensão do fenômeno	Verbal
7	Descrição / guiar o olhar na percepção de objetos	Verbal, gráfico cartesiano
Exercício proposto		Verbal, desenho esquemático
Quadro: Lembrete	Definição / definir uma grandeza a partir de outra	Verbal, expressão algébrica
Quadro: Por dentro do conceito	Explicação / compartilhar a compreensão	Verbal
Exercício resolvido	Exemplificação / estabelecer um vínculo entre uma classe de referentes e um referente específico (exercício de aplicação)	Verbal, expressão algébrica

3.4 Comparando as estratégias de orquestração dos multimodos

Nesta seção, tecemos algumas comparações entre as estratégias de orquestração multimodal utilizadas pelos autores dos textos analisados nas últimas duas seções. Utilizaremos siglas para nos referirmos aos livros em vez de citarmos os nomes dos autores ou os títulos dos livros. A sigla FCT refere-se ao livro *Física Ciência e Tecnologia*, de Torres et al. (2010) e a sigla FEC ao livro *Física em Contextos: pessoal, social e histórico*, de Pietrocola et al. (2010).

Iniciamos nossas considerações discorrendo sobre o uso das fotografias. Em ambos os textos aparecem fotografias, mas há uma diferença entre a função que as fotografias desempenham nos dois textos. No livro FCT, a função retórica do segmento de texto multimodal no qual aparece a fotografia é a de estabelecer um vínculo entre referentes mais abstratos ou distantes do mundo vivido e referentes identificados com esse mundo. A imagem que os autores atribuíram equivocadamente a uma célula fotovoltaica foi articulada a uma lista de supostas aplicações de células fotoelétricas em dispositivos e equipamentos que pertencem ao mundo vivido.

O conjunto de fotografias da tabela do livro FEC pertence a um segmento de texto multimodal cuja função retórica é a de guiar o olhar do leitor na identificação de equipamentos necessários à reprodução e ao estudo do EF. O fato de terem sido utilizadas várias fotografias, associadas a textos descritivos contribui para que o leitor identifique os equipamentos com a função que eles desempenham no experimento.

Procuramos mostrar pela análise dos dois livros a importância que se deve prestar à coerência entre o que diz o texto verbal e o que é mostrado na fotografia. Tanto no livro FCT quanto no livro FEC, apresentamos exemplos em que o texto verbal se referia a um equipamento enquanto a fotografia mostrava outro. Para que haja coerência textual multimodal, ambos os modos (verbal e fotografia) devem tratar do mesmo tema e transmitir o mesmo tipo de informação.

No livro FCT, existe um primeiro nível de coerência multimodal que diz respeito à escolha por orquestrar um texto verbal exemplificativo e uma fotografia. Pela experiência que temos de ver na fotografia uma representação mais próxima à realidade, uma fotografia é um bom modo de apresentar um exemplo que nos remete a um referente concreto, pertencente ao mundo vivido. A coerência, no entanto, não se concretiza, pois o referente do texto verbal é uma “placa de fotocélulas”, enquanto o referente da fotografia é um painel fotovoltaico. Parece haver uma falta de cuidado dos autores na apresentação dos exemplos de aplicação tecnológica dos conceitos envolvidos no EF. Essa falta de cuidado também ocorre no FEC, quando os autores se referem equivocadamente ao CCD como uma aplicação tecnológica do EF ou quando evocam a cauda de cometas como evidência do comportamento corpuscular da luz.

Problemas na orquestração das fotografias aos textos verbais foram encontrados não apenas no FCT, mas também no FEC. A escolha por orquestrar fotografias e textos descritivos nesse último livro seria coerente, a princípio, mas a coerência multimodal mais uma vez não ocorreu. A fotografia da válvula 1P39, que aparece ao lado da tabela da página 377 (cf. figura 3.10, na página 98), foi associada à legenda “Lâmpada de mercúrio”. Porém, a fotografia mostra a fotocélula que se encontra dentro da caixa da montagem experimental. Além disso, os referentes do texto verbal descritivo sobre a produção do EF incluem processos inobserváveis, enquanto as fotografias mostram apenas os equipamentos utilizados na montagem experimental.

Por estarem próximas ao mundo vivido e distantes do mundo concebido, as fotografias não se prestam bem para a representação de processos inobserváveis, cuja existência se deve ao mundo concebido. Nesse sentido, consideramos mais acertada a escolha de um desenho esquemático-icônico em um dos livros, para a descrição dos elementos e dos processos que ocorrem na fotocélula, durante a reprodução e o estudo do EF. Para fazer a descrição da ocorrência do EF na célula fotoelétrica, os autores do livro

FCT associaram um desenho esquemático-icônico ao texto descritivo. Embora tenhamos mostrado que alguns pontos poderiam ter sido mais bem explorados na integração daqueles recursos, o fato de os autores terem utilizado mais de um modo de comunicação foi benéfico e, em nossa avaliação, poderia auxiliar com mais sucesso o leitor na produção de sentidos.

No livro FEC, o leitor precisa imaginar a conexão entre os equipamentos e os processos de incidência de luz e ejeção de elétrons, que não é descrito em nenhum outro modo além do verbal escrito. Julgamos, por isso, que o processo de compreensão daquele texto seja mais complicado para o leitor, no sentido de que uma maior quantidade de trabalho semiótico seria necessária para que o leitor compreendesse todo o texto.

De uma consideração sobre a orquestração de fotografias e textos verbais, passamos agora a tratar da orquestração entre texto e gráficos cartesianos. Ao comparar os dois livros, desse ponto de vista, notamos a presença de gráficos muito semelhantes. O gráfico da energia cinética dos elétrons em função da frequência da luz que incide na fotocélula é empregado de modo semelhante nos dois livros, já que os autores utilizam esse tipo de gráfico para mostrar que a energia aumenta com o aumento da frequência e que existe um valor mínimo para a frequência, abaixo da qual não ocorre o EF.

Diferenças marcantes existem no caso dos gráficos da corrente elétrica em função da tensão aplicada aos eletrodos da fotocélula. Esse tipo de gráfico está presente nos dois livros, mas há diferenças na orquestração dessa inscrição com outros modos utilizados pelos autores. No livro FEC, esse tipo de gráfico é usado apenas para transmitir a informação de que o valor do potencial de corte é o mesmo, independente da intensidade da luz incidente. Já no livro FCT, os autores se baseiam no gráfico para explicar o que acontece na fotocélula quando a polaridade da bateria é invertida. Assim, a situação física em que se faz a medida é que dá origem ao gráfico. Embora os autores desse último livro não tenham estabelecido uma conexão clara entre o texto e o gráfico, o texto verbal explicativo se baseia em uma suposta realização do experimento e os resultados do experimento são apresentados no gráfico.

Atribuímos tal diferença de orquestração à importância que os diferentes autores conferem à montagem experimental. No texto FCT, há um parágrafo dedicado a explicar a realização da experiência pela orquestração entre um texto verbal e um desenho esquemático-icônico. Já no livro FEC, os autores estão preocupados apenas com os resultados do experimento, que eles apresentam como uma série de constatações. Nesse caso, é enganosa a presença, no livro FEC, de fotografias de equipamentos que pertencem à montagem experimental. Esse tipo de fotografia poderia sugerir maior ênfase à montagem, mas essa ênfase não aparece na orquestração entre o modo verbal e modo gráfico. Os autores do FEC apresentam fotos dos equipamentos, mas não contribuem para que o leitor

compreenda como esses equipamentos são usados para gerar as informações que eles apresentam como uma lista de constatações.

O emprego das expressões algébricas que aparecem nos dois livros para relacionar a energia cinética dos elétrons com a tensão elétrica entre os eletrodos da fotocélula também é diferente. No FEC, ela é apenas uma relação entre duas grandezas. Os autores não a utilizam em nenhuma discussão. Já no livro FCT essa mesma expressão é utilizada na explicação do fato da corrente elétrica não cair imediatamente a zero quando a polaridade da bateria é invertida. É claro que não se pode deixar de considerar a inadequação da forma como esses autores orquestraram essa equação e o texto verbal, conforme mostrado na seção 3.2.

Há outras duas ocorrências de orquestração entre os modos verbal e algébrico nos dois livros que são semelhantes. A expressão que relaciona a energia do fóton à frequência da onda aparece no contexto da suposição de Einstein de que a luz se comporta como partículas ao interagir com a placa metálica que compõe a fotocélula. Além disso, a expressão que relaciona a energia do fóton, a função trabalho e a energia cinética do elétron surge, nos dois livros, como um resultado da conservação da energia.

Considerações finais

Procuramos, por meio da realização desse trabalho, identificar e analisar as estratégias de integração dos diferentes modos de comunicação utilizadas pelos autores na elaboração dos textos sobre o efeito fotoelétrico, encontrados em livros didáticos aprovados pelo PNLD. Para alcançar este objetivo, procuramos orientar nossa atenção por meio da seguinte questão geral: como os autores de livros didáticos utilizam e integram os diferentes modos de comunicação e pensamento na composição dos textos multimodais sobre o efeito fotoelétrico, de forma a alcançar certos propósitos retóricos?

Essa questão mais geral foi desdobrada em algumas questões mais específicas, que delimitaram um pouco melhor o nosso objeto de pesquisa: i) Como os textos são retoricamente estruturados? ii) Como os autores orquestram os diferentes modos de comunicação ao longo do texto? iii) Como os autores constroem coesão e coerência textuais ao orquestrar os múltiplos modos?

Com relação à primeira questão, identificamos, na elaboração dos textos, a utilização de sequências textuais-verbais descritivas, explicativas, exemplificativas, definitórias e injuntivas que foram orquestradas com os modos fotográfico, pictórico (esquemático e icônico), gráfico e algébrico. As funções retóricas que marcam essa orquestração foram apresentadas nas tabelas 3.2 e 3.3. Trata-se de funções retóricas típicas dos livros textos de Física para o ensino médio e, por essa razão, podemos afirmar que os textos sobre o EF seguem o mesmo padrão dos textos dedicados aos outros temas e assuntos. Em outras palavras, não há nesses textos nada de excepcional ou diferente do padrão adotado pelos autores na produção do restante dos livros analisados.

Voltando agora a atenção para nossa segunda questão de pesquisa, podemos dizer que os livros analisados promovem a orquestração entre sequências textuais descritivas, definitórias, explicativas, exemplificativas e as seguintes inscrições didáticas: fotografias, desenhos esquemático-icônicos, gráficos cartesianos, tabelas e expressões algébricas. Observamos também que a orquestração multimodal depende fortemente do texto verbal. O texto verbal parece ser o esteio sobre o qual são dispostos os demais modos. Essa é uma característica esperada em livros de Física dedicados ao Ensino Médio. Em textos dedicados ao ensino superior e em artigos científicos, há circunstâncias nas quais o peso das expressões algébricas é maior e, por isso, o modo algébrico passa a ocupar uma posição de primeiro plano no processo de orquestração multimodal. Nesse caso, considera-se que o enunciário possui uma boa base de conhecimentos compartilhados em álgebra e parte-se do princípio que a álgebra, devido às suas características como modo de

comunicação e pensamento, é mais apropriada para ocupar o primeiro plano do processo de orquestração.

A especialização funcional é um aspecto importante da orquestração multimodal. Uma fotografia não pode exibir entidades do mundo concebido e nem representar processos envolvendo essas entidades. Se a intenção retórica do autor do texto é a de guiar o olhar do leitor na percepção dessas entidades e desses processos, então ele deve utilizar um desenho esquemático. Já se a intenção do autor é descrever os atributos físicos de um equipamento, então ele obterá um melhor resultado junto a seu leitor se ele utilizar um desenho icônico ou uma fotografia com o foco sobre os pontos a serem destacados. Agora se a intenção do autor é guiar o olhar do leitor sobre aspectos do comportamento de duas grandezas matematicamente relacionadas, então o gráfico cartesiano é a melhor escolha. Note que nos exemplos que acabamos de apresentar, a função retórica era a mesma (guiar o olhar do leitor), mas a informação a ser comunicada era diferente, o que gera a necessidade de se utilizar um modo não-verbal também diferente.

Dado que os modos possuem especializações funcionais, faz-se necessário o emprego de diferentes modos para comunicar aspectos distintos de um tema. Para que os diferentes modos sejam percebidos como parte de um todo significativo é necessário integrá-los de modo coerente e coeso. Isso nos remete a nossa terceira questão de pesquisa. Em nosso trabalho procuramos avaliar como os autores constroem a coesão e a coerência textual ao orquestrar os múltiplos modos.

Por meio da análise que realizamos mostramos como a coerência multimodal pode ser estabelecida pelo menos em dois níveis. Um primeiro, referente à escolha do modo, tendo em vista a especialização funcional dos mesmos e a função retórica a ser alcançada. Um segundo, referente à adequação entre as metafunções ideacionais dos modos utilizados. Assim, se um segmento de texto deve desempenhar a função retórica de estabelecer um vínculo entre uma classe de referentes e um referente específico é melhor associar uma sequência textual exemplificativa a uma dada inscrição capaz de caracterizar um objeto ou processo também específico, que pode ser um gráfico, um desenho ou uma fotografia. Mostramos, que em alguns casos, essa orquestração de primeiro nível foi bem estabelecida pelos autores, contribuindo para a coerência textual multimodal do texto. Esse foi o caso do uso da fotografia junto ao texto verbal exemplificativo do segundo parágrafo do texto do livro FCT. No entanto, embora a coerência de primeiro nível tenha sido bem estabelecida nesse texto citado, não se pode dizer o mesmo com respeito à coerência de segundo nível. A legenda da fotografia desse segmento do texto mencionava uma célula fotoelétrica, mas a imagem apresentava um dispositivo constituído por materiais semicondutores.

A coesão multimodal, por sua vez, demanda uma correta sinalização, por parte dos autores, das transições a serem efetuadas pelo leitor entre os diversos modos empregados. Trata-se, nesse caso, de oferecer ou sugerir um caminho de leitura que possa tornar o texto multimodal coerente. Por exemplo, para associar o texto verbal descritivo dos parágrafos quatro e cinco, do livro FCT, ao gráfico cartesiano, os autores se valem da utilização de índices dêiticos. Em alguns casos, os autores não utilizam índices dêiticos e a escolha de um caminho de leitura coerente deve ser realizada pelo leitor. Nessas situações, a proximidade entre os modos, resultante da diagramação, pode ser uma forma do leitor orquestrar os diferentes modos.

A partir de nossas análises constatamos que a busca pela coerência e pela coesão textual em textos multimodais não é tarefa fácil de ser alcançada. Considerando que todos os autores, em cada um dos livros analisados, tenham se dedicado a produzir textos coerentes, na perspectiva de seus leitores, percebemos que a falta de coesão e de coerência possa ser explicada por outras razões. O problema pode residir em uma dificuldade dos autores em se colocar no lugar de seus leitores. Esse problema diz respeito à proximidade ou ao afastamento entre o enunciatário concebido e o enunciatário real no ato da enunciação. Para os autores de um livro é bem provável que muitas das lacunas que o leitor encontrará no texto simplesmente não existem, pois ele detém o conhecimento necessário que preenche esses espaços vazios e porque sua enunciação é coesa e coerente de seu próprio ponto de vista. O exercício de se colocar no lugar do enunciatário, que depende de um conhecimento empírico desse sujeito poderia auxiliar o autor a antever as demandas cognitivas criadas para o leitor durante a leitura de um texto. Antecipando essas demandas, o autor poderia orquestrar os multimodos com o objetivo de facilitar o trabalho semiótico do leitor ao interpretar o texto.

Acreditamos que a maior contribuição desta pesquisa para o ensino de ciências seja possibilitar uma reflexão acerca do uso dos recursos verbais e não-verbais na elaboração de textos didáticos e acerca da importância da orquestração multimodal dos diferentes modos. Um aumento da compreensão das dificuldades enfrentadas pelos leitores ao se depararem com um texto multimodal se aplica tanto a professores de ciências, quanto a produtores de materiais didáticos.

Professores de ciências lidam com o emprego das representações sugeridas pelos livros didáticos. Em alguns casos, o livro é tido como a fonte básica de saberes a partir da qual o professor elabora suas aulas. Tomar consciência dos processos de leitura e interpretação demandados de seus alunos na leitura de um texto multimodal e das dificuldades que eles possam enfrentar pode ajudar o professor a conceber mediações capazes de auxiliar seus alunos-leitores. Além disso, ser capaz de analisar criticamente os textos didáticos a partir de um ponto de vista semiótico pode proporcionar condições ao

professor de buscar suprir as lacunas deixadas pelos autores dos livros, devido às dificuldades dos mesmos em conceber os sujeitos alunos com os quais o professor interage oral e presencialmente.

Para os produtores de materiais didáticos valem considerações semelhantes às anteriores. A impressão que tivemos ao realizar este trabalho foi que os autores de textos didáticos supõem que, necessariamente, o estudante vai ler este texto assessorado pelo professor. Um maior cuidado e um necessário movimento de se colocar no lugar do leitor, concebendo minimamente o leitor a que se destina o texto, é um movimento necessário para que o autor possa produzir um texto mais coerente e coeso. Em se tratando de um texto didático de ciências esse movimento é fundamental. Por utilizar uma linguagem muitas vezes distante do cotidiano do estudante, a interação com os textos didáticos apresenta grandes quantidades de trabalho semiótico a ser realizado. Assim, o estudante de Ensino Médio precisa de auxílio na compreensão de termos técnicos, na percepção de objetos e processos, no estabelecimento de vínculos entre referentes específicos e classes de referentes. Esses movimentos podem ser facilitados pelo autor do texto, que pode buscar minimizar as lacunas a serem preenchidas pelo leitor.

Outra questão referente aos produtores de materiais didáticos se refere à elaboração de atividades que permitam aos leitores manipularem as inscrições que são inseridas no texto do livro. A utilização adequada de inscrições passa pelo engajamento dos leitores em práticas que os levem a manipular essas inscrições. Nos exercícios encontrados nos livros que analisamos, todavia, busca-se muito mais a manipulação mecânica de expressões algébricas. As expressões algébricas são importantes, sem dúvida, mas um gráfico também comunica informação e é essencial que os estudantes aprendam a ler esse tipo de inscrição nas mais diversas situações e nos mais diferentes temas. Os desenhos esquemáticos também constituem recursos importantes e os estudantes aprenderão a utilizá-los e a interpretá-los se tiverem oportunidades de manipular esses modos não-verbais de comunicação e pensamento.

Por fim, quanto à pesquisa em educação, nós utilizamos referenciais da área da linguística e semiótica e procuramos mostrar que eles fornecem contribuições bastante promissoras para compreendermos como a linguagem pode afetar a produção de sentidos na leitura de textos multimodais. Esse trabalho não é único nesse sentido e se alinha a muitos outros que vêm buscando estudar a linguagem utilizada nas aulas de ciências como forma de compreender a produção e a comunicação do conhecimento científico. A vantagem da perspectiva semiótica, utilizada em nosso trabalho, se revela quando olhamos para o aprendizado das ciências como um aprendizado sobre a utilização dos signos próprios de uma dada cultura. Nesse sentido, acreditamos que aprofundar os estudos semióticos do livro didático, das simulações de computador e das interações em sala de

aula pode propiciar um ganho com respeito à aprendizagem vista como apropriação de uma cultura que produziu mundos concebidos constituídos por sistemas de signos.

Tratamos em nosso trabalho com textos didáticos impressos, mas igualmente importante seria considerar a coesão e a coerência textual multimodal em situações de sala de aula de ciências. A oralidade faz uso de outros recursos de significação. Além do texto verbal oral, um professor em uma aula de ciências frequentemente utiliza outros modos de comunicação, como fotografias, desenhos, modelos em três dimensões e experimentos. Questões muito semelhantes poderiam ser colocadas nesse contexto: como os professores em situações de sala de aula orquestram os modos de forma a manter a coerência e a coesão? Apesar das semelhanças existem diferenças, pois, no caso dos textos impressos, o leitor pode voltar ao texto quantas vezes quiser ou puder, algo que não é amplamente possível no texto multimodal cujo esteio vincula-se ao modo verbal oral.

Outro estudo que nos parece importante diz respeito ao uso de simulações de computador. Nossa análise se baseou em um material impresso no papel, estático. Uma animação na tela do computador poderia revelar outros aspectos da coesão e da coerência textual multimodal. Em se tratando de representar processos envolvendo entidades do mundo concebido, poder-se-ia questionar: que recursos são utilizados pelos produtores desses materiais para estabelecer a orquestração? Como essa orquestração poderia contribuir para a ampliação da construção de significados e não funcionar apenas como uma imagem em movimento? Isto é, que outros significados uma orquestração multimodal em uma animação poderia permitir ao leitor alcançar?

Por fim, um último apontamento diz respeito ao uso de experimentos. Os experimentos são um dos recursos que os professores da área de ciências têm à disposição para mediar o acesso dos estudantes aos modelos e conceitos das ciências. Um olhar semiótico sobre a utilização de experimentos poderia permitir responder a questões como: é possível atribuir diferentes funções retóricas aos experimentos realizados em sala de aula? Seriam essas funções retóricas semelhantes às que encontramos nos textos didáticos impressos?

Referencias Bibliográficas

- AINLEY, J., NARDI, E. e PRATT, D. (2000). The construction of meanings for trend in active graphing. In: *International Journal os Computers for Mathematical Learning*, vol. 5, n. 2, pp. 85-114.
- ARAÚJO, A. O. (2008). O uso do tempo e das práticas epistêmicas em aulas práticas de química. Belo Horizonte, Dissertação (Mestrado em Educação – FAE/UFMG).
- BACHELARD, G. (1991). *A filosofia do não: filosofia do novo espírito científico*. Tradução de José J. M. Ramos. Lisboa: Presença.
- BACHELARD, G. (1996). *A formação do espírito científico*. Tradução de Estela S. Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto.
- BAKHTIN, M. (1997). *Estética da criação verbal: os gêneros do discurso*. São Paulo: Martins Fontes.
- BEICHNER, R. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. In: *American Journal of Physics*, vol. 62, n. 8, pp. 750-762.
- BITTENCOURT, C. M. F. (1997). *Livros didáticos: concepções e usos*. Recife: Secretaria da Educação e Esporte de Pernambuco.
- BITTENCOURT, C. M. F. (2004). Em foco: história, produção e memória do livro didático (Apresentação). In: *Educação e Pesquisa*, v. 30, n. 3, pp. 471-473.
- BOWEN, G. M. e ROTH, W. -M. (2005). Data and graph interpretation practices among preservice science teachers. In: *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 42, n. 10, pp. 1063-1088.
- BRAGA, S. A. M. e MORTIMER, E. F.(2003). Os gêneros de discurso do texto de biologia dos livros didáticos de ciências. In: *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 3, n. 3, pp. 56-74.
- BRAGA, S. A. M.(2003). O texto de Biologia do livro didático de Ciências. Belo Horizonte, Tese (Doutorado em Educação – FAE/UFMG).
- BRONCKART, J. -P.(2003). *Atividade de linguagem, textos e discursos: por um interacionismo sócio-discursivo*. Tradução de Anna Raquel Machado e Péricles Cunha. São Paulo: EDUC.
- CHARAUDEAU, P. e MAINGUENEAU, D.(2004). *Dicionário de análise do discurso*. Tradução Fabiana Komesu (coord.) . São Paulo: Contexto.
- COSTA VAL, M. G. (2006). *Redação e textualidade*. São Paulo: Martins Fontes.
- DUVAL R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of Mathematics. In: *Educational Studies in Mathematics*, 61: 103–131. Springer.
- FIORIN, J. L. e SAVIOLI, F. P.(1999). *Para entender o texto: leitura e redação*. São Paulo: Ática.
- GARBI, G. G. (2007). *O romance das equações algébricas*. São Paulo: Livraria da Física.
- GRECA, I. M. e MOREIRA, M. A. (2001). Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória. In: *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 6, n. 1, pp. 29-56.
- GUO, L. (2004). Multimodality in a biology text book. In: O'Halloran, K. L. (ed.) *Multimodal Discourse Analysis: systemic functional perspectives* (pp. 196-219). London: Continuum.

- HALLIDAY, M. A. K.(1976). Estrutura e função da linguagem. In: Lyons, J. (org.) *Novos horizontes em lingüística* (pp. 134-160). Tradução de Jesus Antônio Durigan. São Paulo: Cultrix.
- HALLIDAY, M. A. K. (1985). *An introduction to Functional Grammar*. London: Edward Arnold.
- HALLIDAY, M. A. K. e MARTIN, J. R. (1993). *Writing Science: literacy and discursive power*. London: Falmer Press.
- JOLY, M. (1996). *Introdução à análise da imagem*. Tradução de Marina Appenzeller. São Paulo: Papirus.
- KRESS, G., JEWITT, C., OGBORN, J. e TSATSARELIS, C. (2001). *Multimodal Teaching and Learning: the rhetorics of the science classroom*. London: Continuum.
- KRESS, G. e van LEEUWEN, T.(1996). *Reading images: the grammar of visual design*. London: Routledge.
- KRESS, G.(2003). *Literacy in the new media age*. London: Routledge.
- KRESS, G. e BEZEMER, J.(2009). Escribir em um mundo de representación multimodal. In: Kalman, J. e Street, B. V. (coords.) *Lectura, escritura y matemáticas como prácticas sociales: diálogos con América Latina* (pp. 64-83). México: Siglo XXI.
- KUHN, T. S. (1977). Tradição matemática versus tradição experimental no desenvolvimento da ciência física. In: *A Tensão Essencial*. Lisboa: Edições 70.
- KUHN, T. S. (1998). Posfácio de *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Perspectiva.
- LATOUR, B. e WOOLGAR, S.(1997). *A vida de Laboratório: a produção dos fatos científicos*. Rio de Janeiro: Relume Dumará.
- LATOUR, B. (2000). *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. Tradução de Ivone C. Benedetti. São Paulo: Unesp.
- LEMKE, J. L. (1998a) Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. In: Martin, J. R., Veil, R. (eds.) *Reading science: critical and functional perspectives on discourses of science* (pp. 87-113). London: Routledge.
- LEMKE, J. L. (1998b). *Analysing verbal data: principles, methods, and problems*. Disponível em: <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/papers/handbook.htm>. Acessado em 22/07/2011.
- MARCUSCHI, L. A. (2003). Gêneros textuais: definição e funcionalidade. In: Dionisio, A. P., Machado, A. R. e Bezerra, M. A. (orgs.) *Gêneros textuais e ensino*. Rio de Janeiro: Lucerna.
- MARICONDA, P. R. (2006). O controle da natureza e as origens da dicotomia entre fato e valor. In: *Scientiae Studia*, vol. 4, n. 3, pp. 453-72. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php>. Acessado em 08/08/2011.
- MARTINS, I.(2006). Analisando livros didáticos na perspectiva dos estudos do discurso: compartilhando reflexões e sugerindo uma agenda para a pesquisa. In: *Pro-Posições*, v. 17, n. 1, pp. 117-136.
- MENDONÇA, R. J., CAMPOS, A. F., JÓFILI, Z. M. S. (2004). O conceito de Oxidação-Redução nos livros didáticos de Química Orgânica do Ensino Médio. In: *Química Nova na Escola*, n. 20, pp. 45-48.
- MONTEIRO, C. E. F. (1999). Interpretação de gráficos: atividade social e conteúdo de ensino. CD – 22ª ANPEd. Disponível em : http://www.ufrj.br/emanped/paginas/conteudo_producoes/docs_22/carlos.pdf. Acessado em: 22/07/2011.

- MONTEIRO, M. A. e NARDI, R. (2007). Tendências das pesquisas sobre o ensino da física moderna e contemporânea apresentadas no ENPEC. In: *Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*, Florianópolis.
- MORTIMER, E. F. e SCOTT, P. H. (2003). *Meaning making in secondary Science Classrooms*. Maidenhead: Open University Press.
- MORTIMER, E. F., MASSICAME, T., TIBERGHIE, A. e BUTY, C. (2007). Uma metodologia para caracterizar os gêneros de discurso como tipos de estratégias enunciativas nas aulas de Ciências. In: Nardi, R (org.) *A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: alguns recortes*. São Paulo: Escrituras.
- NASCIMENTO, T. G. e MARTINS, I. (2005). O texto de genética no livro didático de ciências: uma análise retórica crítica. In: *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 2, pp. 255-278.
- NORRIS, S. P., GUILBERT, S. M., SMITH, M. L., HAKIMELAHI, S. e PHILLIPS, L. M. (2005). A theoretical framework for narrative explanations in science. In: *Wiley InterScience*. (www.interscience.wiley.com)
- OSTERMANN, F. e MOREIRA, M. A. (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. In: *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 1, pp. 23-48.
- PAULA, H., F. (2004). A ciência escolar como instrumento para a compreensão da atividade científica. Belo Horizonte. Tese (Doutorado em educação).
- PAULA, H. F., ALVES, E. G. e MATEUS, A. L. (2011). *Quântica para iniciantes: investigações e projetos*. Belo Horizonte: UFMG.
- PEREIRA, A. P. e OSTERMANN, F. (2007). Uma análise da produção acadêmica recente sobre o ensino de física moderna e contemporânea no Brasil. In: *Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*, Florianópolis.
- PEREIRA, A. P. e OSTERMANN, F. (2009). Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. In: *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 14, n. 3, pp. 393-420.
- ROTH, W. -M., POZZER-ARDENGGI, L. e HAN, J. Y. (2005). *Critical Graphicacy: understanding visual representation*. Dordrecht: Springer.
- SHAH, P. e HOFFNER, J. (2002). Review of graph comprehension research: implications for instruction. In: *Educational Psychology Review*, vol. 14, n. 1.
- WU, H. K. e KRAJCIK, J. S. (2006). Inscriptional practices in two inquiry-based classrooms: a case study of seventh graders’ use of data tables and graphs. In: *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 43, n. 1, pp. 63-95.

Referências dos livros didáticos de Ensino Médio

- BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V. e DOCA, R. H. (2010). *Física*, vol. 3. São Paulo: Saraiva.
- FUKE, L. F. e YAMAMOTO, K. (2010). *Física para o Ensino Médio*, vol. 3. São Paulo: Saraiva.
- GASPAR, A. (2010). *Compreendendo a física: ensino médio*, vol. 3. São Paulo: Ática.
- MÁXIMO A. e ALVARENGA, B. (2005). *Curso de Física*, vol. 3. São Paulo: Scipione.
- MÁXIMO, A. e ALVARENGA, B. (2010). *Curso de Física*, vol. 3. São Paulo: Scipione.

MENEZES, L. C.; CANATO, O. J.; KANTOR, C. A.; PAOLIELLO, L. A. J.; BONETTI, M. C. e ALVES, V. M. (2010). *Quanta Física, 3º ano: ensino médio*. São Paulo: Editora PD.

PENTEADO, P. C. M. e TORRES, C. M. A. (2005). *Física Ciência e Tecnologia*, vol. 3. São Paulo: Moderna.

PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; OLIVEIRA, R. C. A. e ROMERO, T. R. L. (2010). *Física em contextos: pessoal, social, e histórico*, vol. 3. São Paulo: FTD.

SAMPAIO, J. L. e CALÇADA, C. S. (2005). *Universo da Física: ondulatória, eletromagnetismo, física moderna*, vol. 3. São Paulo: Atual.

SAMPAIO, J. L. e CALÇADA, C. S. (2005). *Física*, vol. único. São Paulo: Atual.

SANT'ANNA, B.; MARTINI, G.; REIS, H. C. e SPINELLI, W. (2010). *Conexões com a Física*, vol. 3. São Paulo: Moderna.

SILVA, C. e BARRETO, B. F. (2010). *Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna*, vol. 3. São Paulo: FTD.

TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G. e SOARES, P. A. T. (2010). *Física – Ciência e Tecnologia*, vol. 3. São Paulo: Moderna.

USBERCO, J. e SALVADOR, E. (2009). *Química*, vol. 1. São Paulo: Saraiva.

APÊNDICE A - O efeito fotoelétrico

Efeito fotoelétrico (EF) é o nome dado ao fenômeno da ejeção de elétrons de uma placa metálica em função da incidência de luz sobre esta placa. Veja a figura A1, abaixo.

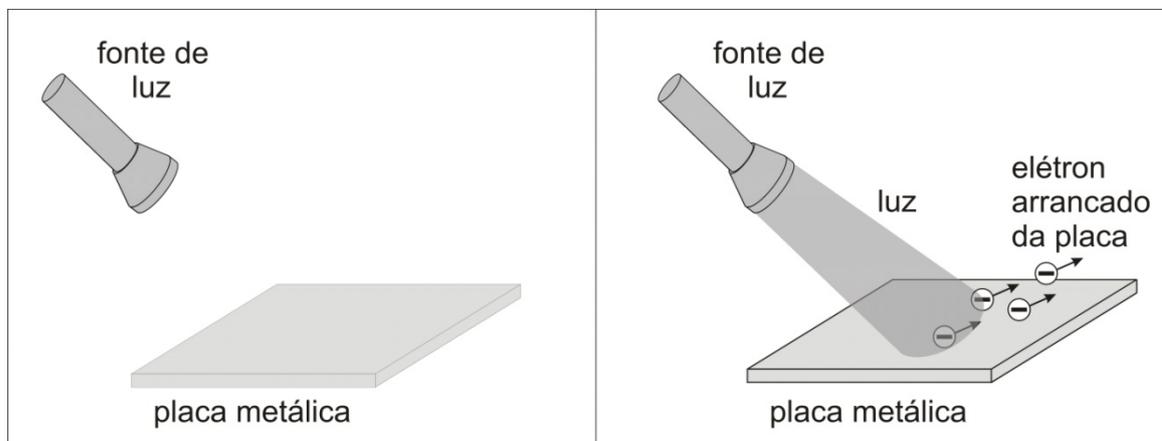


Figura A1 – a luz que incide sobre uma placa metálica pode arrancar elétrons dessa placa.

Para se estudar o EF é necessário utilizar uma montagem experimental apropriada, com os equipamentos representados no desenho da figura A2, ao lado.

A célula fotoelétrica é o dispositivo em que ocorre o EF. Ela é constituída por uma ampola de vidro, com dois eletrodos metálicos em seu interior: um emissor (E) e um coletor (C). Para se estudar o EF deve haver vácuo no interior da célula fotoelétrica.

O eletrodo E fica sempre ligado a uma tensão elétrica nula (terra). O eletrodo C pode ficar positivo ou negativo em relação ao eletrodo E, conforme a posição em que se encontra o cursor móvel do resistor variável. Esta configuração do resistor variável com as duas baterias funciona como uma fonte de tensão variável, que permite um controle preciso da polaridade das placas da fotocélula. Se o cursor do resistor variável estiver no centro, o coletor está com uma tensão nula em relação ao emissor, ou seja, o mesmo potencial do emissor. Se o cursor for deslocado para a direita, o coletor fica positivo em relação ao emissor. Se o cursor for deslocado para a esquerda, o coletor fica negativo em relação ao emissor.

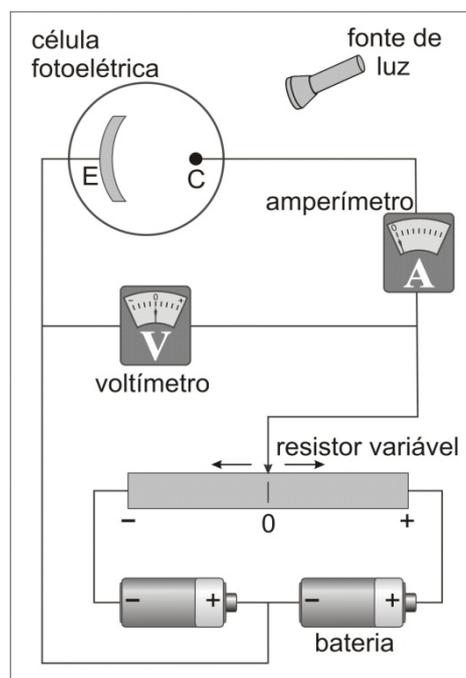


Figura A2 – circuito utilizado para se estudar o efeito fotoelétrico.

O voltímetro é usado para medir a tensão elétrica entre os eletrodos E e C e o amperímetro mede a corrente elétrica que circula entre esses dois eletrodos quando ocorre o EF.

Quando o eletrodo E da célula fotoelétrica não está recebendo luz, então não há EF e o amperímetro não indica a existência de corrente elétrica (Figura A2). Porém, quando sobre o emissor incide luz de frequência apropriada, o amperímetro indica a existência de uma pequena corrente elétrica, mesmo se não houver um potencial entre os eletrodos (veja a figura A3). Essa corrente é formada por elétrons que são arrancados do emissor E e se dirigem para o coletor C com certa velocidade, possuindo, portanto, certa energia cinética.

A realização de experimentos meticulosos, utilizando uma montagem semelhante à mostrada na figura A3, permitiu aos cientistas observar alguns fenômenos que não podiam ser explicados pela física clássica, a saber: i) existe uma frequência mínima para que a luz que incide na fotocélula consiga arrancar elétrons do emissor; ii) a intensidade da luz não interfere na energia cinética com que o elétron é arrancado do emissor. O que afeta a energia cinética dos elétrons é a frequência da luz; iii) não há um tempo de retardo entre a incidência de luz sobre o emissor e a emissão dos elétrons. Desde que a luz possua certa frequência, os elétrons são ejetados imediatamente após a incidência da luz sobre o metal.

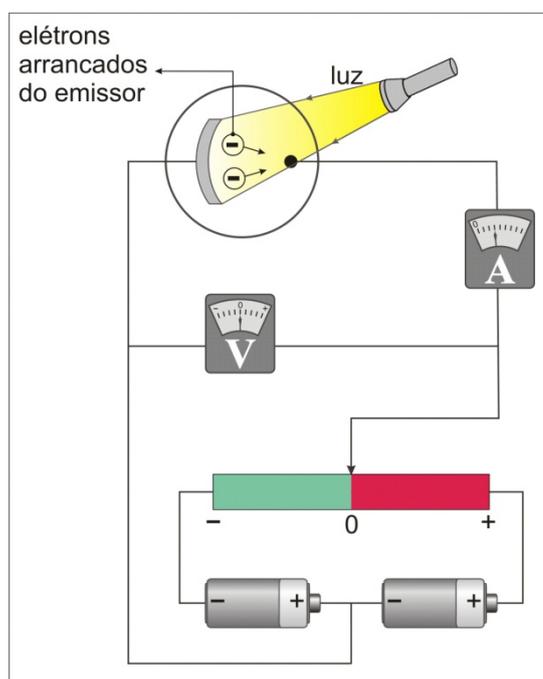


Figura A3 – quando incide luz sobre o eletrodo emissor, elétrons são arrancados do metal e se movem em direção ao coletor

Para explicar esses resultados, Einstein supôs que a luz possuía um comportamento dual. Nos processos de interação em que ocorre a emissão e a absorção, a luz se comporta como se sua energia estivesse concentrada em pacotes ou partículas de luz, mais tarde denominados fótons. Já na propagação, a luz se comporta como onda.

Para Einstein, as partículas de luz possuem certa energia, que depende da frequência da luz. Luz de frequência mais alta possui maior energia. Isso explica o fato da luz de baixa frequência não conseguir arrancar elétrons de um metal. No metal, os elétrons se encontram ligados aos seus átomos. Para retirar o elétron do metal é preciso fornecer certa quantidade de energia a ele. Portanto, somente a luz de maior frequência consegue fornecer energia suficiente para arrancar os elétrons do metal.

A intensidade da luz não muda a frequência da mesma e, portanto, não altera a energia dos fótons. A intensidade está relacionada à quantidade de fótons emitidos pela fonte num determinado intervalo de tempo. Luz mais intensa implica em mais fótons emitidos por intervalo de tempo. Mas desde que a fonte seja a mesma, a energia dos fótons emitidos é a mesma, independente da intensidade. No modelo proposto por Einstein, cada elétron absorve a energia de um único fóton, portanto, variar a intensidade não muda a energia que o elétron recebe da partícula de luz.

Por fim, não há um tempo de retardo entre a incidência da luz e a saída do elétron exatamente porque cada elétron absorve a energia de um fóton como concentrada em um pacote. Diferentemente de uma onda, em que a energia está espalhada por toda a frente da onda, o fóton possui a energia concentrada. Assim, quando o fóton atinge o metal, o elétron absorve toda a sua energia de uma só vez.

Nossa intenção aqui não é a de fornecer um tratamento detalhado do efeito fotoelétrico, mas apenas um panorama básico. Para o leitor que desejar aprofundar sua compreensão sobre o EF, incluindo as relações matemáticas que permitem a previsão do fenômeno, bem como uma discussão sobre a incompatibilidade entre as teorias clássica e os resultados experimentais obtidos com as experiências sobre o efeito fotoelétrico, sugerimos os dois livros a seguir:

HALLIDAY, D., RESNICK, R., KRANE, K. S. (1996). Física, vol. 4, 4ª edição. Rio de Janeiro: LTC.

EISBERG, R. e RESNICK, R. (1979). Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. 14ª tiragem. Rio de Janeiro: Campus.